

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

С.А. Найда

« 01 » червня 2020р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 171 «Електроніка»

на тему: «Засоби ідентифікації з використанням поверхневих акустичних хвиль»

Виконав: студент 4 курсу, групи ДГ-гб1-1
(цифра групи)

Проскурка Сергій Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник проф. Артеменко М.Ю.
(посада, науковий ступінь, ім'я та прізвище)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, ім'я та прізвище, науковий ступінь, прізвище, ініціал) (підпис)

Рецензент доц. Батрак Л.М.



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.
Студент Проскурка С.А.




Київ – 2020 року

Завдання на дипломну роботу

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Електроніки
Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність 171 «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
 С.А. Найда
(ініціали, прізвище)
« 01 » червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту

Проскурці Сергію Андрійовичу






1. Тема роботи «Засоби ідентифікації з використанням поверхневих акустичних хвиль»
керівник роботи доктор технічних наук, професор Артеменко М.Ю
затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1196-с ,
2. Термін подання студентом роботи 1 червня 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: визначити перспективні напрями розвитку засобів радіочастотної ідентифікації з використанням поверхневих акустичних хвиль з акцентом на засоби локалізації та позиціонування всередині приміщень.
4. Зміст дипломної роботи: Розділ 1. Огляд сучасних напрямів розвитку технології РЧІД; Розділ 2. Перспективні РЧІД засоби ідентифікації; Розділ 3. Засоби локалізації та позиціонування всередині приміщень з використання РЧІД.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) презентація.

6. Консультанти розділів роботи^{1*}

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «1» квітня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	14.04.2020	
2	Написання 1-го розділу	30.04.2020	
3	Написання 2-го розділу	10.05.2020	
4	Написання 3-го розділу та висновків до роботи	20.05.2020	
5	Написання реферату та оформлення всієї роботи	1.06.2020	

Студент
Керівник роботи



Проскурка С.А.
Артеменко М.Ю.

Анотація

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Засоби ідентифікації з використанням поверхневих акустичних хвиль»: 76 сторінок 14 рисунків, 3 таблиці, 15 посилань на джерела, додаток.

Метою дипломної роботи є огляд перспективних напрямів розвитку засобів радіочастотної ідентифікації з використанням поверхневих акустичних хвиль з акцентом на засоби локалізації та позиціонування всередині приміщень.

В даній дипломній роботі розроблена радіочастотна ідентифікаційна мітка на поверхневих акустичних хвилях. Основними функціональними елементами пристрою є підкладка з нанесеними на неї зустрічно-штирьовими структурами, що прикріплюється до контактних виводів мітки антен, а також погоджувальний елемент - індуктивність. Розроблено методику розрахунку основних елементів мітки, обрання матеріалу підкладки, тип зустрічно-штирьових перетворювачів і відбивної системи. Також запропонований технологічний маршрут виготовлення розроблюваної мітки. Як приклад розглянуто один з методів побудови карти ідентифікації з використанням мітки на ПАХ.

Ключові слова: РАДІОЧАСТОТНА МІТКА, РАДІОЧАСТОТНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ПОВЕРХНЕВІ АКУСТИЧНІ ХВИЛІ, NFC, RFID, ЧІПОВІ МІТКИ, КАРТИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Annotation

Explanatory note to the thesis "Radio Frequency Identification": 74 pages, 14 figures, 3 tables, 15 references to sources, an insert.

The aim of the project is to develop a radio frequency identification tag on surficial acoustic waves.

In this thesis, the radio frequency identification mark on surficial acoustic waves is developed. The main functional elements of the device are a substrate with counter-pin structures applied to it, which is attached to the contact pins of the antenna, as well as a matching element - inductance. A method for calculating the main elements of the tag, the choice of substrate material, the type of counter-pin transducers and the reflective system has been developed. Also, the technological route of manufacturing of the developed tag is offered. As an example, one of the methods of constructing an identification map using the tag on the SAW is considered.

Key words: RADIO FREQUENCY TAG, RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, SURFACIAL ACOUSTIC WAVES, NFC, RFID, CHIPING, IDENTIFICATION CARDS

ЗМІСТ

ЗМІСТ	6
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ РЧІД	101.1 Штрих-код
1.2 Технологія NFC	12
1.3 Технологія контролю доступу на основі біометричної система	13
1.4 Радіочастотні ідентифікаційні мітки	14
1.4.1 Огляд існуючих досліджень та розробок РЧІД	14
1.4.2 Принципи радіочастотної ідентифікації	17
1.4.3 Пасивні, напівактивні і активні мітки	20
1.4.4 Мітки що зчитуються та перезаписуються	21
1.4.5 Чіпові і без чіпові мітки	21
1.5 Обмеження РЧІД технологій	23
1.6 Порівняння RFID зі штрих-кодом	25
Висновок до Розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВНІ РЧІД ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	32
2.1 Пасивні радіочастотні ідентифікаційні мітки на поверхневих акустичних хвилях	32
2.1.1 Фізичні принципи роботи міток на поверхневих акустичних хвилях	32
2.1.2 Можливі принципи побудови і функціонування РЧІД-міток на ПАХ	34
2.1.3 Варіанти кодування даних в мітках на ПАХ	38
2.1.4 Частотні діапазони РЧІД-систем	40
2.2. Чіпова РЧІД мітка, обґрунтування вибору технології	43
2.3. Тип зберігання даних	45
2.4 Зчитування РЧІД мітки	47
2.5 HF чіп	49
2.6. Конструкція мітки	50
2.7. Стадія попередньої обробки поверхні підкладок	52
2.8 Попереднє очищення підкладок ниобата літію	52
2.9 Остаточне очищення підкладок від забруднень	54
2.10 Формування електродних структур	55
Висновок до Розділу 2	60
РОЗДІЛ 3. ЗАСОБИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯ РЧІД	61

3.1 Вимоги до систем позиціонування.	61
3.2 Системи позиціонування з використанням пасивних радіочастотних ідентифікаторів (RFID)	62
3.3 Структура RFID-системи просторової локалізації	64
3.3.1 Види вимірювальної інформації	66
3.4 Методи просторової RFID-локалізації	68
3.4.1 Зонний метод	68
3.4.2 Геометричний метод	69
3.4.3. Методи на базі попереднього аналізу робочої зони	71
3.4.3 Методи на базі міток-маяків	72
3.4.5 Порівняльний аналіз методів і перспективи їх розвитку	73
3.5 Системи позиціонування з використанням активних RFID	74
3.6 Перевірка працездатності міток	80
Висновок до розділу	81
ВИСНОВОК	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАННЯ	74
	ДОДАТОК 176

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РЧІД – Радіочастотна Ідентифікація

ПАХ – Поверхневі Акустичні Хвилі

NFC - Near Field Communication

СКД - Системи контролю доступу

ЗШП - Зустрічно-Штирьові перетворювачі

ВСТУП

Щорічне зростання світового товарообігу і масштабне збільшення числа вантажоперевезень привело до створення систем реєстрації і ідентифікації рухомих і нерухомих об'єктів. Завданням будь-якої системи ідентифікації є зберігання інформації про об'єкт з можливістю її зручного зчитування. Такі системи як правило містять в своєму складі зчитувачі і мітки. Мітка може містити дані про тип об'єкта, вартість, вагу, температуру, дані логістики, або будь-яку іншу інформацію, яка може зберігатися в цифровій формі. Вони можуть бути виконані у вигляді карток з магнітною смугою, штрих-кодів, електронних ключів, чіпованих або без чіпових карток ідентифікації [3].

Однак, у подальшому, нас будуть цікавити системи дистанційного зчитування інформації про об'єкт, радіочастотна ідентифікація, виявимо гідності і недоліки кожної технології. Далі визначимо основні мети та завдання для створення пристрою, що дозволяє конкурувати з існуючими аналогами. Основна частина дипломної роботи присвячена розробці радіочастотної ідентифікаційної мітки на ПАХ.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ РЧІД

1.1 Штрихове кодування

С допомогою штрихового коду закодована інформація про деякі з найбільш суттєвих ПАХ параметрів продукції. Найбільш поширена Європейська система кодування EAN. Згідно з цією системою, кожному виду виробу присвоюється свій номер, що найчастіше складається з 13 цифр (EAN-13) [2]. Типовий штрих-код представлений на рис.1.1.1.



Рис. 1.1.1 Штрихкод –мітка

Цифрові позначення:

1. Код країни;
2. Код виробника;
3. Код товару;
4. Контрольна цифра;
5. Знак товару, виготовленого за ліцензією.

Основні переваги штрихового кодування є простота реалізації і низька вартість. Однак, для повного ряду областей ця технологія є не результативною, особливо там, де потрібен контроль переміщення об'єктів в реальному часі, інтелектуальні рішення автоматизації, здатність працювати в жорстких умовах експлуатації [4].

Всі ці проблеми можуть бути вирішені за допомогою радіочастотної ідентифікації, зокрема радіочастотні ідентифікаційні (РЧІД) мітки [2].

1.2 Технологія NFC

Near Field Communication (NFC) – це нова технологія бездротового зв'язку з малою дальністю, яка розвивається з комбінації існуючих технологій безконтактної ідентифікації і меж з'єднань [2].

NFC призначений для обміну різними видами інформації між двома пристроями NFC, такими як мобільні телефони, або між мобільним телефоном з підтримкою NFC і сумісної чіп-картою RFID або зчитувачем, які знаходяться близько один до одного. У NFC використовується індуктивний зв'язок [2]. Подібно принципу трансформатора, магнітне ближнє поле двох провідних котушок використовується для з'єднання виборчого пристрою (ініціатора) і прослуховувального пристрою (цілі) [4].

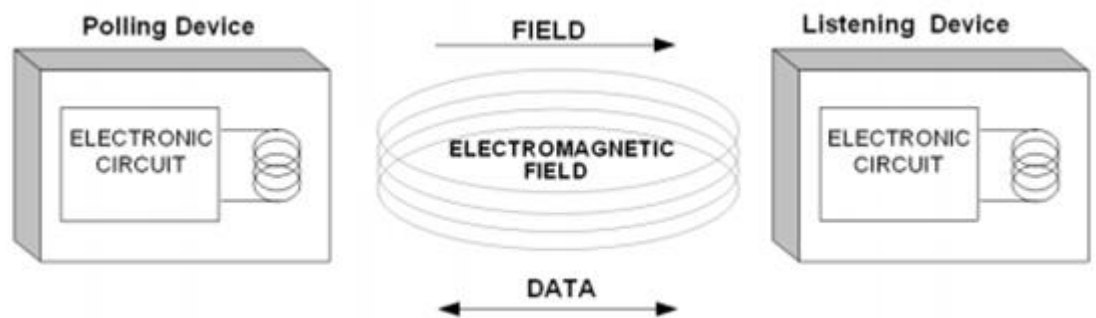


Рис. 1.2.1: Конфігурація пристрою опитування (ініціатор) і прослуховувального пристрою (цілі)

Робоча частота 13,56 МГц, швидкість 106 Кбіт / с (іноді 212 Кбіт / с і 424 Кбіт / с) [9].

1.3 Технологія контролю доступу на основі біометричної система

Біометрична система контролю доступу – це простий спосіб аутентифікувати людину для того, щоб надати доступ або відмовити в доступі в будівлю, приміщення або кімнату [2].

Біометричні системи контролю доступу являє собою зчитувач або сканер, програмне забезпечення, яке перетворює зібрану інформацію в цифрову форму і базу даних, яка зберігає інформацію для порівняння з попереднього запису. Перевірка являє собою простий процес для користувачів. У зчитувач заздалегідь вводиться і зберігається один з видів біометричної перевірки. В результаті виходить шаблон, прийнятих біометричних даних людини на момент реєстрації. Залежно від типу пристрою для читання, користувач кладе руку на блок, або палець на скло, або надає інший тип біометричних вхідних даних [4].

Якщо отриманий шаблон відповідає збереженому шаблону, людині дозволяється доступ.



Рис. 1.3:1 Конфігурація пристрою опитування (ініціатор) і прослуховувального пристрою (цілі)

1.4 Радіочастотні ідентифікаційні мітки

1.4.1 Огляд існуючих досліджень та розробок РЧІД

У далекому 1935 році британський інженер Роберт Уотсон–Уатт розробив перший прототип системи розпізнавання IFF (Identification Friend or Foe; „свій–чужий“) для літаків. Механіка роботи системи: на літак встановлювався передавач, який отримує сигнал наземної радіолокаційної станції і автоматично передає відповідь. Вважається, що IFF стала

прообразом всіх майбутніх систем радіочастотної ідентифікації. Свою ефективність вона довела в ході Другої Світової Війни: системи IFF використовували Німеччина, Японія і США. Після війни американські вчені почали ґрунтовні дослідження та експерименти, які підтвердили широкі можливості використання радіочастотної ідентифікації в повсякденному житті. Починаючи з кінця 50-х рр. ця технологія лягла в основу діючих в усьому світі систем управління повітряним рухом [3].

В кінці 60-х – початку 70-х рр. такі компанії, як Sensormatic і Checkpoint System запропонували нові способи використання RFID в менш складних і більш поширених додатках. Ці фірми почали розробку обладнання для системи електронного стеження за товарами для запобігання крадіжок одягу в універмагах і книг в бібліотеках [3].

Перший патент на активну перезаписувану RFID-позначку виданий в США в 1973 році. У тому ж році запатентовано пасивний транспондер для відкривання дверей без ключа. У 80-і рр. з'явилися перші системи обліку худоби, ідентифікації персоналу і дистанційного відкривання дверей. На початку 90-х компанія IBM розробила і запатентувала UHF RFID-систему з високою дальністю зчитування (до 6 метрів) і гарною швидкістю передачі даних. Інженери IBM навіть запустили пілотні проекти з мережевим ритейлером Walmart, але широкого впровадження так і не сталося. В середині 90-х IBM продала RFID-патенти американському провайдеру систем штрихкодів Intermec. Компанія Intermec запропонувала власноруч розроблений пристрій, що зчитує обладнання для впровадження RFID в різних галузях. У 1999 році розвиток RFID вийшло на якісно новий рівень. Uniform Code Council (США), EAN International (ЄС), Procter & Gamble (США) і Gillette (США) профінансували створення „Центру Auto-ID“ (центру вивчення автоматичної ідентифікації) в Массачусетському технологічному інституті. Там працювали професори Девід Брок і Сенджей Шарма, які вивчали можливості створення дешевих RFID-міток для маркування товарів в ланцюгах поставок. Ідея була в тому, щоб чіп мітки ніс мінімум інформації – тільки її серійний номер. А решта даних зберігалася б в онлайн базі. Це був революційний підхід, неможливий до появи Інтернету і потужних комп'ютерів [2].

За 4 роки (з 1999 по 2003) „Центр Auto-ID“ надав підтримку сотні великих компаній, Міністерству Оборони США і багатьом ключовим компаніям ринку. Відкрилися дослідні лабораторії в Австралії, Великобританії, Швейцарії, Японії та Китаї. Центр розробив два протоколи

(Class 1 і Class 2), стандарт EPC (Electronic Product Code) і мережеву архітектуру для пошуку в Інтернеті даних, прив'язаних до RFID-мітки. У жовтні 2003 року „Центр Auto-ID“ закритися. Просуванням стандарту EPC зайнялося нове міжнародне підприємство EPC Global. Уже в грудні 2004 року EPC Global затвердив стандарт другого покоління – Gen2 для більш широкого застосування RFID-технологій. З цього моменту найбільші американські ритейлери і Міністерство Оборони США стали ще більш активно впроваджувати RFID [2]. У 2008 року темпи впровадження RFID знизилися, а в пресі стали з'являтися негативні матеріали: радіочастотні мітки як і раніше не могли працювати на металевих поверхнях, якість зчитування не завжди була достатньою, а сама технологія залишалася дорогою і складною. Проте, інтерес кінцевих споживачів залишався високим. У 2012 році Motorola Solutions поглинула виробника мобільних зчитувачів Psion, а компанія Honeywell купила Intermec, що призвело до появи на американському ринку двох конкуруючих виробників RFID-обладнання для різних галузей. До початку 2016 року про запровадження RFID після проведення пілотних проектів повідомили такі американські ритейл-гіганти, як Macy's, American Apparel, JC Penny and Target [12].

Незважаючи на тривалу історію розвитку RFID-технології, її впровадження до цих пір знаходиться на початковій стадії. Активне просування технології на вітчизняному ринку почалося в 2005–2006 рр., коли компанії-інтегратори стали не тільки пропонувати рішення на базі RFID, але і вести активну маркетингову політику по їх просуванню: публікації статей, створення інтернет-порталів, участь і організація виставок і семінарів [14].

Перспективи в області застосування RFID-технології полягають у наступному:

1. Системи контролю доступу (СКД).
2. Облік і безпека транспортних засобів.
3. Технічне забезпечення спортивних і видовищних заходів.
4. Захист комп'ютерних систем і телекомунікацій від несанкціонованого доступу.
5. Системи проти крадіжок для підприємств, квартир, магазинів.
6. Контроль і супровід об'єктів в технологічних процесах.
7. У тваринництві, птахівництві (вживлення електронних міток під шкіру).
8. Позиціонування залізничних вагонів, автофургонів.

9. У метрополітені: пасажирські карти, облік робочого часу касирів, машиністів і т. п.

10. Ліки – обробка замовлень за кодами контейнерів.

11. Маркування бочок в пивоварній промисловості і винних заводах.

12. Виставкові експонати – „пожвавлення“ експонатів при підході гіда.

13. Електронний підпис для осіб, які працюють на небезпечних об'єктах (наприклад, в нафтогазовидобувній та вугільній промисловості).

14. Магазины – видача та переміщення товарів і матеріальних цінностей.

15. Служби аварійного оповіщення і порятунку (наприклад, МНС)

Застосування технології радіочастотної ідентифікації веде до поліпшення обліку, управління і безпеки ресурсів, зниження витрат, підвищення продуктивності, зниження втрат часу і більш ефективному використанню обладнання та персоналу. На сьогоднішній день – це ключова технологія в таких областях, як безпека, транспортні перевезення, виробництво, торгівля та ін. Таким чином, перспективи застосування технології радіочастотної ідентифікації – найширші: від обліку виробів на виробництві та цінностей в установах культури до захисту продукції від підробок. RFID-мітки почали отримувати широке впровадження і, за прогнозами, обіцяють стати найпопулярнішою і масовою технологією в світі, здатною конкурувати з розповсюдженням з мобільними телефонами [12].

1.4.2 Принципи радіочастотної ідентифікації

Радіочастотна ідентифікація - технологія, яка використовує радіочастотне електромагнітне випромінювання для читання або запису інформації на пристрій, який називається міткою [3].

На малюнку приведена типова конструкція РЧІД-мітки.

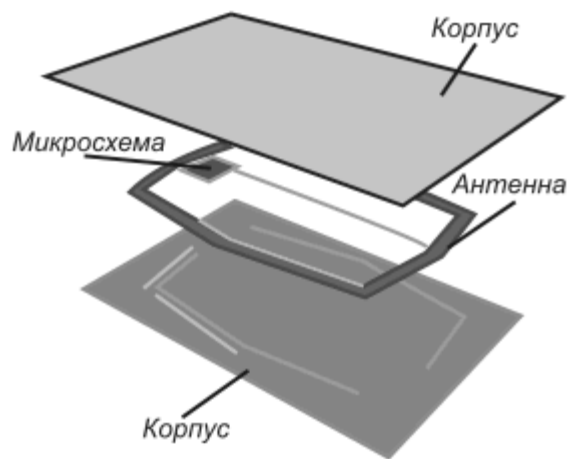


Рис. 1.4.2.1 Конфігурація типової РЧІД-мітки.

У таблиці 1.4.2.1 наведено порівняльну характеристику радіочастотної ідентифікації та штрихового кодування.

Таблиця 1.4.2.1.

Порівняльна характеристика радіочастотної ідентифікації та штрихового кодування

Характеристики технології	РЧІД	Штрих-код
Необхідність в прямій видимості мітки	Можливе читання схованих міток	Читання неможливе без прямої видимості
Об'єм пам'яті	От 10 до 10000 байт	До 100 байт
Можливість перезапису та багаторазового використання	Так	Ні
Одночасна ідентифікація декількох міток	До 200 міток	Неможливо

Характеристики технології	РЧІД	Штрих-код
Стійкість до взаємодій з оточенням: механічне, температурне, хімічне,	Збільшена міцність та стійкість	Дуже легко пошкоджуються
Термін життя мітки	10+ років	короткий
Безпека та захист від підробки	Зробити підробку майже неможливо	Легко зробити підробку
Ідентифікація рухливих об'єктів	Можлива	Важка
Ідентифікація металевих об'єктів	Можлива	Можлива
Схильна до поміх у видах електромагнітного поля	Так	Ні
Дальність реєстрації	До 100 м	До 4 м
Вартість	Середня	Низька

При роботі з радіочастотною ідентифікацією необхідно враховувати деякі обмеження. До них відносяться: відносно висока вартість; неможливість розміщення під металевими і екрануючими поверхнями; взаємні колізії; схильність перешкод у вигляді електромагнітних полів [2].

Вартість пасивних РЧІД-міток перевищує вартість етикеток зі штрих-кодом. Виходячи з цього, використання радіочастотних міток варто для захисту цінних товарів від крадіжок або для забезпечення збереження виробів, переданих на гарантійне обслуговування. У сфері логістики і транспортування вантажів вартість радіочастотної виявляється зовсім незначною у порівнянні з вартістю вмісту контейнера, тому абсолютно виправдано використання радіочастотних міток на пакувальних ящиках,

палетах і контейнерах. Радіочастотні мітки схильні до впливу металу (це стосується упаковок певного виду - металевих контейнерів, іноді навіть деяких типів упаковки рідких харчових продуктів, запечатаних фольгою). Це зовсім не виключає застосування РЧІД, але призводить або до необхідності використання більш дорогих міток, розроблених спеціально для пристосування на металеві поверхні або до нестандартних засобів закріплення міток на об'єкті [4].

Схильність перешкодам систем радіочастотної ідентифікації у вигляді електромагнітних полів від включеного устаткування, що випромінює радіоперешкоди в діапазоні частот, що використовується для роботи РЧІД-системою. Необхідно ретельно проаналізувати умови, в яких система РЧІД буде експлуатуватися. Для систем UHF діапазону 868-869 МГц це майже не актуально (в цьому діапазоні ніякі інші прилади не працюють), але низькочастотні мітки, які працюють на частоті 125 КГц подібному впливу піддаються [7].

Через те, що сфери застосування міток різноманітні, на їх характеристики накладаються істотні обмеження по виконанню, розмірами і вартості. З цими характеристиками пов'язані різні класифікації РЧІД-міток.

Радіочастотні ідентифікаційні мітки прийнято розділяти на "чіпові" і "безчіпові". Чіпові містять інтегральну мікросхему - чіп, а безчіпові її не містять. Чіпові, в свою чергу, можуть бути пасивні, напіваактивні і активні. Пасивні мітки не містять ані елемента живлення, ані активного передавача; напіваактивні мітки містять елемент живлення, але не мають активного передавача; активні мітки містять обидва [7]. Ще одна класифікація поділяє мітки тільки на ті що зчитуються і записуючі. Тільки зчитувальні мітки мають або тільки пам'ять яка зчитується, або пам'ять, яка одноразово програмується і багаторазово зчитується. Записуючі мітки дозволяють одноразово записувати і багаторазово перезаписувати інформацію [3].

1.4.3 Пасивні, напівактивні і активні мітки

Різниця між пасивними, напівактивними і активними мітками полягає в наявності джерела живлення і передавача. Пасивні мітки не містять ні джерела живлення, ні передавача. Напівактивні мітки містять джерело живлення, але не містять передавача. Активні мітки містять як джерело живлення, так і передавач. Активні мітки мають найкращі характеристики. Дальність може досягати кілометрів, а зв'язок зі зчитувачем надійний і швидкий. Однак наявність джерела живлення і передавача призводить до високої вартості [5].

Напівактивні мітки в порівнянні з пасивними мають більш високу дальність (до декількох десятків метрів) і через це можуть мати досить високі функціональні можливості. Однак, це також призводить до підвищення їх вартості. Пасивні мітки володіють дальністю дії до 100 метрів і більш залежні від регламентних обмежень і впливу навколишнього середовища. Проте вони отримали широке розповсюдження через найменшу вартість. Тому з подальшому при порівнянні різних типів міток будемо торкатися лише області пасивної ідентифікації [5].

1.4.4 Мітки що зчитуються та перезаписуються

Будь-які чіпові мітки можуть бути тільки зчитуваними або записуваними. Пасивні мітки, як правило, бувають тільки зчитуваними [7].

Тільки зчитувальні мітки програмуються ідентифікаційним кодом в процесі виробництва або при установці на певний об'єкт. Пам'ять таких міток можуть або тільки читатися пам'яттю або одноразово програмуватися і багаторазово читатися. Записуючі мітки можуть багаторазово перепрограмовані в процесі їх експлуатації. Зазвичай, вони мають ідентифікаційний код або серійний номер, який записується в процесі виробництва. Також в них може записуватися різноманітна додаткова

інформація. Такі мітки багатофункціональні, однак це призводить до зростання їх вартості. Через низьку вартість найбільшим ринковим потенціалом володіють тільки зчитуванні мітки в сукупності з практично тими ж функціональними можливостями, як і записуючі мітки [9].

1.4.5 Чіпові і без чіпові мітки

Щоб ідентифікувати безліч вироблених об'єктів, схема пам'яті повинна мати можливість зберігання достатньої кількості унікальних кодів. Оптимальним вважається обсяг пам'яті в 96 біт. Більшість безчіпових міток в даний час дозволяють зберігати 24 біта або менше, хоча деякі дозволяють зберігати 64 біта [7].

Через зростання кількості і зниження розміру об'єктів, на які встановлюються мітки, необхідно, щоб зчитувач був здатний одночасно зчитувати безліч міток, які перебувають в зоні його дії; причому мітки можуть розміщуватися поряд один з одним. На цей час найкращим засобом вирішення такого завдання - колізії сигналів - є наділення цих міток деяким інтелектом. Можливо також використання методів просторового виділення однієї мітки серед багатьох інших, що призводить до вирішення колізії [12].

На рисинку 1.4.5.1 зображена чіпова радіочастотна мітка для діапазону частот 850-960 МГц, що випускаються сьогодні компанією Omron.



Рис. 1.4:5.1 Конфігурація пристрою опитування (ініціатор) і прослуховувального пристрою (цілі)

Обидва типи міток мають перемичку, яка є гнучкою друкованою платою зі встановленою мікросхемою, з'єднаної з контуром антени [7].

Переваги чіпових міток:

1) Мають достатню пам'ять, щоб зберігати унікальний ідентифікаційний номер великого числа об'єктів;

2) Простота реалізації зчитування кількох міток одночасно

Безчіпові мітки не мають в своєму складі модуля пам'яті, і тому можуть зберігати набагато менший обсяг інформації. Однак, існує безліч прийомів, спеціальних кодувань сигналу, які дозволяють в повній мірі конкурувати з чіповими аналогами. Крім того, також можливо зчитування відразу декількох міток одночасно. Безчіпові мітки - мітки найнижчою вартістю, які забезпечують оптимальний мінімум функціональних можливостей, тільки прості зчитувачі з постійним унікальним ідентифікаційним кодом. Розглянемо ці види міток більш докладно [6].

1.5 Обмеження РЧІД технологій

При розробці РЧІД-рішення необхідно врахувати обмеження даної технології. До сучасних обмежень РЧІД відносяться:

- Невисокі робочі характеристики в присутності радіонепрозорих і радіопоглинаючих об'єктів. Така поведінка залежить від частоти. Технологія в сучасному її стані погано працює з такими матеріалами, а в деяких випадках відмовляє повністю [7].

- Вплив факторів навколишнього середовища. Умови навколишнього середовища можуть чинити негативний вплив на RFID-рішення [2].

- Обмежене число зчитуваних міток. Існує практичне обмеження на кількість міток, які можна прочитати за певний час.

- Вплив перешкод від апаратури. На RFID-рішення може негативно впливати неправильна установка апаратури (наприклад, розташування і орієнтація антени).

- Обмежена проникна здатність енергії радіохвиль. Хоча RFID не вимагає прямої видимості, існує межа проникнення енергії радіохвиль, навіть в радіопрозорі об'єкти [2].

- Незрілість технології. Поряд з прекрасною новиною про швидкі зміни в RFID-технології, ці зміни можуть створювати проблеми для необережних і не досвідчених користувачів [4].

Дана технологія використовується в тих системах відстеження багажу на авіалініях. RFID-мітки, що вбудовуються в бирки на авіабагажі, можуть використовуватися для забезпечення ефективного вирішення по відстеженню[7].

Така RFID-мітка має достатній обсяг пам'яті для зберігання даних про реєстрацію та маршрут багажу, тому такі дані доступні на локальному рівні без необхідності звертатися до бази даних про багаж. RFID-мітки можуть читатися, на відміну від штрих-кодів, майже при будь-якої орієнтації (незалежно від перекриття з іншим багажем), що виражається в більш швидкому і точному скануванні в порівнянні зі штрих-кодами. Міжнародної асоціації повітряного транспорту (International Air Transport Association, IATA) ще тільки належить прийняти галузевий стандарт для переходу багажних бирок зі штрих-кодами на RFID-мітки і автоматичну обробку багажу пасажирів. (У 2006 році прийнята рекомендація IATA про впровадження RFID-маркування у всіх аеропортах) [8].

При галузевих випробуваннях (компаніями British Airways в 1999 р і Delta Airlines в 2003 р) даної технології бирки з RFID-мітками забезпечили точність від 95 до 99% , а штрих-коди могли б забезпечувати точність тільки від 80 до 85% (приблизно). Такі прикладні системи поки ще не набули широкого комерційного поширення, але безсумнівно їх грамотне використання принесе позитивний ефект. [9]

Розглянувши переваги та обмеження RFID, можна зробити висновок, що, незважаючи на ряд недоліків, властивих технології при належному обліку не базових аспектів можна обійти ці проблеми і знайти оптимальне

RFID-рішення для технології ідентифікації вантажів. RFID-технологія здатна вирішити практично всі питання, які стоять перед складами будь-якого класу. Радіочастотна ідентифікація наділяє вантаж інтелектом і дозволяє йому "спілкуватися" з комп'ютером без всякого контакту і прямої видимості. Необхідно лише, щоб на вантаж була прикріплена електронна мітка, і він знаходився в полі дії спеціального пристрою, що зчитує. У RFID-позначку може вноситися будь-яка інформація [7].

Таким чином, процес ідентифікації вантажів сильно спрощується і стає можливим абсолютно в будь-який момент часу. Сьогодні в сучасному складському господарстві і логістиці необхідний контроль і прозорі схеми управління, що дозволяють в режимі реального часу бачити, знати і координувати всі дії, пов'язані з роботою складу[3].

В результаті впровадження технології RFID вдасться досягти гармонійного функціонування складу, як єдиного організму, що неможливо без наявності повної і точної інформації про процеси, що відбуваються на його території в будь-який момент часу.

1.6 Порівняння RFID зі штрих-кодом

Порівняння двох цих технологій дасть можливість прийняти правильне рішення, і вибрати ту технологію, яка найбільш задовольняє потреби нашої організації. Сьогодні RFID позиціонується як «покращений штрих-код» або «інтелектуальний штрих код». У засобах масової інформації регулярно повідомляється, що RFID скоро замінить штрих коди. І хоча RFID дійсно має велику кількість очевидних переваг перед штрих кодом, штрих коди пропонують ряд переваг в порівнянні з RFID [4].

Проаналізуємо переваги і недоліки RFID і штрих кодів, що дозволить краще оцінювати сильні і слабкі сторони цих двох технологій і забезпечить адекватний вибір дійсно відповідної технології для ідентифікації вантажів [7].

Перевагами rfid перед штрих кодом є:

- Підтримка не статичних даних. Дані RFID-мітки можуть записуватись багато разів (RW-тип мітки). Дані на штрих коді є статичними і не можуть бути змінені [2].
- Немає необхідності в прямій видимості. У загальному випадку RFID-рідеру не потрібно пряма видимість RFID-мітки, щоб вважати її дані. Пристрою зчитування штрих кодів для сканування завжди потрібно чітко встановлена пряма видимість штрих коду [9].
- Більша відстань читання. RFID-мітка може зчитуватися на значно більшій відстані, аніж штрих код. Залежно від ряду факторів радіус зчитування RFID може становити від декількох метрів до декількох сотень метрів [2].
- Більший обсяг зберігання даних. RFID-мітка може зберігати значно більше інформації, ніж штрих код [2].
- Підтримка читання декількох міток. Відповідний рідер може зчитувати кілька RFID-міток за дуже короткий період часу. Ця здатність автоматично ідентифікувати кілька команд можуть значно прискорювати операції зчитування міток. Зчитувач штрих кодів може одночасно читати тільки один штрих код, що означає більш тривалий час читання штрих кодів в порівнянні з тим же кількістю RFID-міток, що читаються RFID-рідером [9].
- Стійкість до впливу навколишнього середовища. RFID-мітка зазвичай має підвищену міцність і опірність жорстких умов робочого середовища (до певної міри). Штрих код легко пошкоджується (наприклад, вологою або забрудненням) [10].
- Інтелектуальне поведінка. RFID-мітка може застосовуватися і при виконанні інших завдань крім зберігання і перенесення даних. Штрих код не володіє ніяким інтелектом і є лише засобом зберігання даних [10].
- Точність читання RFID набагато більш точна, ніж штрих коди.
- Безпека. RFID-мітки, на відміну від штрих коду мають функцією для попередження крадіжок. Якщо необхідно захистити об'єкт від несанкціонованого виносу, не потрібно додаткових заходів безпеки.

Перевагами штрих кодів перед RFID є:

- Більш низька вартість. Вартість впровадження рішення зі штрих-кодами зазвичай нижче, ніж у який можна порівняти RFID-рішення.
- Порівнянні ступеня точності. У деяких випадках точність рішення зі штрих кодами приблизно однакова, або вище, в порівнянні з еквівалентним RFID-рішенням [10].
- Відсутність впливу типу матеріалу. Система зі штрих кодами може успішно використовуватися для оцінки майже кожного виду матеріалу.
- Відсутність міжнародних обмежень. Системи зі штрих кодами використовуються по всьому світу без будь-яких правових обмежень на застосування даної технології [10].
- Відсутність проблем соціального характеру. На даний момент можна виявити штрих-коди майже на кожен товар по всій планеті, але жодна група захисту прав на недоторканність приватного життя не заперечує їх використання [3].
- Більш високий ступінь зрілості технології та широка база встановлених систем. Технологія зі штрих кодами, можливо, є найбільш широко поширеною технологією в усьому світі.

Основними недоліками як RFID, так і штрих кодів є:

- Вплив перешкод. Зчитувач штрих-кодів не може читати штрих код при наявності будь-якої перешкоди між зчитувачем і штрих кодом. RFID-рідер в залежності від робочих частот і інших чинників, таких, як потужність і робочий цикл, може бути не здатним читати мітку при наявності між рідером і міткою таких радіо-непрозорих перешкод, як метал, або таких радіо-поглинаючих матеріалів, як вода [4].
- Вплив вологості. У разі зчитувачів штрих-кодів світловий промінь може переломлюватися зваженими в повітрі частинками води, що буде виражатися, в спотворенні фокусування. При застосуванні RFID-рідерів, які працюють в УВЧ і мікрохвильовому діапазонах, зважені в повітрі частки

води можуть поглинати енергію радіохвиль, що буде приводити до недостатності енергії, що досягає позначки, для належної передачі даних [4].

- Обмеження по швидкості. Якщо швидкість руху штрих-кодів буде перевершувати швидкість сканування зчитувача, то це може привести до втрати точності, а також до нездатності прочитати штрих-код. Для RFID-рідерів також може виникати втрата точності зчитування і відмова читання мітки, якщо швидкість мітки буде така висока, що у неї не буде достатньо часу для оптимального забезпечення себе енергією і передачі даних назад ридеру [15].

- Зовнішній характер схем ідентифікації. Штрих-код або RFID-мітки повинні бути прикріплені до об'єкта з зовні; вони не є частиною фізичних характеристик самого об'єкта. Отже, якщо такий об'єкт буде забезпечений неправильним штрих кодом або неправильної міткою, то його ідентифікація опиниться під питанням. Наприклад, особистість можна однозначно ідентифікувати за допомогою відбитків пальців або сканування сітківки ока без будь-якої потреби застосовувати до такої особи зовнішню схему ідентифікації, як, наприклад, зі штрих-кодом або RFID-міткою [10].

Таблиця 1.7.1

Порівняння RFID зі штрих-кодом

Характеристика технології	RFID	Штрих-код
Необхідність в прямої видимості міток	Читання навіть скритих міток	Читання без прямої видимості неможливо
Обсяг пам'яті	від 10 до 10000 байт	до 100 байт
Можливість перезапису даних	є	немає
Дальність реєстрації	до 100м	до 1м

Одночасова ідентифікація декількох об'єктів	більш 3000 міток в хвилину	неможлива
Стійкість до впливу навколишньої середовища: механічному, температурному, хімічному, вологості.	підвищена міцність та опірність	вкрай легко пошкоджувати
Строк життя мітки	більш 15 років	короткий
Безпека та захист від підробки	підробити майже неможливо	підробити легко
Ідентифікація об'єктів, що рухаються	так	ускладнена
Використання як стаціонарних, так і ручних терміналів для ідентифікації	так	так

Порівняння обох технологій показало, що переваги RFID значно перевершують її недоліки в порівнянні зі штрих кодом. Використання таких можливостей RFID, як: читання прихованих міток, велика дальність реєстрації, одночасна ідентифікація кількох рухомих об'єктів, стійкість до впливів навколишнього середовища; вирішить основні завдання, які стоять перед технологією ідентифікації вантажів в терміналі. Впровадження технології RFID на складі вантажного терміналі аеропорту «Харків» дасть оригінальне і сучасне рішення для ідентифікації вантажів на складі [10].

Традиційні технології на якомусь етапі були достатньо ефективними при вирішенні завдань обліку та контролю за потоками вантажів, але зараз, коли обсяги вантажних перевезень зростають, відповідно зростає навантаження на склад, цей процес забирає все більше часу і стає трудомістким, крім того, проблема безпеки і запобігання злочинства вирішується на недостатньо високому рівні. Сучасний ринок диктує жорсткі

умови - швидкість і точність контролю руху вантажів вкрай важливі для ефективної роботи складу і якісного обслуговування клієнтів [8].

Висновок до Розділу 1

Було з'ясовано, що переваги RFID систем уможливлюють застосування її в різних сферах торгівлі, виробництва, логістики та безпеки:

- 1) системи контролю та управління доступом;
- 2) управління виробництвом і технологічними циклами;
- 3) бездротові платіжні системи;
- 4) облік і контроль вантажних перевезень;
- 5) автоматизація складування;
- 6) електронне маркування товарів в торгівлі;
- 7) електронне маркування книг в бібліотеках.

Обов'язковим елементом розробки RFID-систем стає аналіз потенційних загроз і забезпечення захисту інформації на фізичному рівні обробки даних, захист елементів RFID-систем від фальсифікації, підробки і несанкціонованих дій, а також забезпечення інформаційної безпеки і розвантаження логічного (інформаційного) рівня обробки від експоненціально наростаючого числа транзакцій і великого потоку інформації, що є очікуваним та йде з фізичного рівня обробки даних, в міру розвитку і поширення безконтактних інформаційно-телекомунікаційних систем [3].

РОЗДІЛ 2. ПЕРСПЕКТИВНІ РІД ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

2.1 Пасивні радіочастотні ідентифікаційні мітки на поверхневих акустичних хвилях

2.1.1 Фізичні принципи роботи міток на поверхневих акустичних хвилях

Робота міток на поверхневих акустичних хвилях заснована на п'єзоефекті і поширенні на поверхні п'єзоелектричного кристала поверхневих акустичних хвиль з відносно невеликою швидкістю (від 3000 до 4000 м / с). П'єзоелектричний ефект (п'єзоефект) спостерігається в анізотропних діелектриках, переважно в монокристалах деяких речовин, що володіють досить низькою симетрією або мають замість центру симетрії так звані полярні напрямки (вісі) [5].

П'єзоефектом можуть володіти також деякі полікристалічні діелектрики з упорядкованою текстурою, наприклад, керамічні матеріали і полімери [2].

Діелектрики, що володіють п'єзоефектом, називають п'єзоелектрик. Зовнішні механічні сили, впливаючи в певних напрямках на п'єзоелектричний кристал, викликають в ньому не тільки механічні напруги і деформації (як в будь-якому твердому тілі), а також електричну поляризацію. На поверхнях кристала з'являються пов'язані електричні заряди різних знаків. При зміні напрямку механічних сил на протилежний стають протилежними напрямки поляризації і знаки зарядів. Це явище називають прямим п'єзоефектом. При впливі на анізотропний діелектрик електричного поля відповідного напрямку в кристалі виникають механічні напруги і деформації. При зміні напрямку електричного поля на протилежне відповідно змінюються на протилежні напрямки напруги і деформації [3].

Це явище отримало назву зворотного п'єзоефекту. У п'єзоелектриках внаслідок зворотного п'єзоефекту вихідне змінне електричне поле викликає деформацію підкладки. Деформація підкладки, в свою чергу, через прямий п'єзоелектричний ефект створює додаткове електричне поле. Додаткове електричне поле запізнюється відносно вихідного поля. В результаті суперпозиції цих двох полів виникає поле з еліптично поляризованої складової, яка обумовлює порушення поверхневої акустичної хвилі [5].

Поверхневі акустичні хвилі (ПАХ) - це пружні хвилі, що поширюються вздовж вільної поверхні твердого тіла або вздовж кордону твердого тіла з іншими середовищами і затухаючі при видаленні від кордонів. Поверхневі акустичні хвилі займають діапазон

довжин хвиль від 10-5 до 10-1 см, а їх частоти відповідають області ультразвуку. Чудовою властивістю поверхневих акустичних хвиль є їх невисока в порівнянні з електромагнітними хвилями швидкість поширення, що дозволяє застосовувати до них математичні методи обробки сигналу. Найбільш просто ПАХ порушуються і реєструються в п'єзоелектриках, які були описані вище. Також, варто додати, що п'єзоелектрики є такі монокристали, що зустрічаються у вигляді природних мінералів і штучно вирощених, як ніобат літію LiNbO_3 і танталат літію LiTaO_3 . Для збудження і детектування ПАХ в різних технічних програмах використовують зустрічно-штирьові перетворювачі (ЗШП). Вони являють собою нанесені на п'єзоелектричну підкладку металеві штирі-електроди, як щітки, вставлені один в одного. ЗШП показаний без урахування пропорцій [7].

Реальна довжина електродів в сто і більше разів перевищує їх ширину. Принцип роботи зустрічно-штирьового перетворювача полягає в наступному. Електричний Δ -імпульс, прикладений до ЗШП, перетворюється завдяки зворотного п'єзоелектричного ефекту в механічну деформацію поверхні підкладки між електродами різної полярності. Ця деформація пропорційна електричному полю і поширюється як поверхнева акустична хвиля в обох напрямках, перпендикулярних електродів. Порушення ПАХ відбувається тільки в області між електродами, підключеними до різних клем. Довжина взаємно перекриваємих частин електродів визначає ширину пучка збуджуваних ПАХ [5].

Перевагою ЗШП є можливість зміни в широких межах ПАХ-параметрів порушуваних ПАХ. Це легко досягається зміною геометричних розмірів ЗШП і проявляється у вигляді зміни форми імпульсного відгуку і частотної характеристики. Зустрічаючи механічну або електричну неоднорідність на поверхні, частина ПАХ відбивається. Поверхнева хвиля, яка входить назад в ЗШП, в результаті прямого п'єзоефекту генерує на його шині електричний сигнал. Саме ця властивість використовується в системах радіочастотної ідентифікації на поверхневих акустичних хвилях [2].

2.1.2 Можливі принципи побудови і функціонування РЧІД-міток на ПАХ

До теперішнього моменту найбільш поширеними були мітки з використанням ланцюгів затримки. Лінія затримки, один з приладів на ПАХ, включає в собі два ЗШП, один з яких призначений для збудження, а другий для прийому порушуваної звукової хвилі. При додатку до вхідного ЗШП електричного сигналу, порушується поверхнева

акустична хвиля. Вона, в свою чергу, доходить до іншого перетворювача з деякою затримкою в часі, залежить від відстані між перетворювачами і від швидкості поширення ПАХ. Типовий час затримки становить 1 -50 мкс. Пасивна карта ідентифікації це кілька ланцюгів затримки (ЛЗ) на ПАХ вкладених в герметичний корпус, з трьома або більше виходами (кнопками для набору ідентифікації коду) і забезпечена невеликою антеною, що дозволяє приймати і випромінювати сигнали в заданій смузі частот з мінімальними втратами [7].

Кількість ланцюгів затримки залежить від значності ідентифікованого коду і може досягати семи (семизначний код). Кожна ЛЗ налаштована на свою смугу частот і мало сприйнятлива до сигналів, призначених для ЛЗ, які налаштовані на інші смуги частот. Також, додаткові висновки дозволяють збільшити число ідентифікаційних комбінацій в 10^3 разів [10]. На рисунку 2.1:2.1 наведена схема такої мітки.

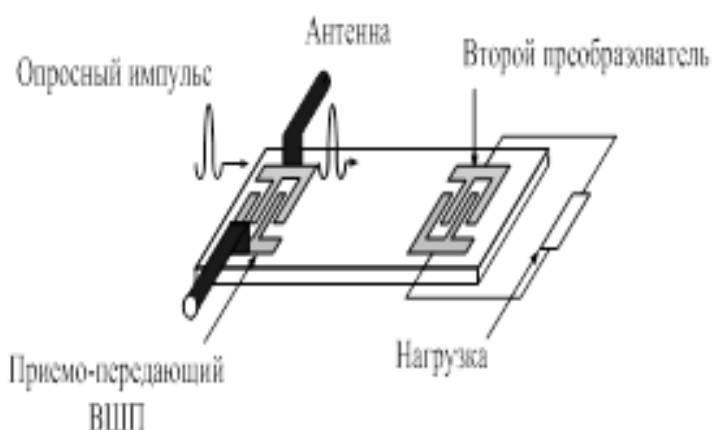


Рис. 2.1:2.1 Схема мітки

Однак, ця мітка має суттєві недоліки: мала ємність даних і великі габаритні розміри. Найбільш поширеним в даний час є транспондер на відбивачах (рефлекторах). ЗШП розташовується в кінці п'єзoeлектричної підкладки. До його шин підключається дипольна антена транспондера, яка приймає сигнал опитування від рідера (зчитувача) і випромінює відповідний сигнал, що генерується транспондером на ПАХ. На рисунку 2.1:2.2 наведена схема генерації сигналу [4].



Рис. 2.1:2.2 Схема генерації сигналу

По довжині транспондера ПАХ розміщуються окремі електроди-рефлектори. Їх розташовують на поверхні таким чином, щоб кодувати дані, використовували затримку в часі, амплітуду і фазу. Коли транспондер потрапляє в зону дії рідера, то частина випромінювання енергії рідером приймається антеною транспондера і доходить до виходів ЗШП у вигляді високочастотного імпульсу напруги ЗШП перетворює частину цієї прийнятої енергії в поверхневу акустичну хвилю, яка поширюється в кристалі під прямим кутом до електродів ЗШП. Для перетворення більшої кількості прийнятої транспондером електромагнітної енергії в акустичну енергію необхідно, щоб частота передачі рідера відповідала частоті коливань поверхневої хвилі, що генерується ЗШП [9].

На поширення ПАХ по поверхні п'єзоелектричного кристала впливають рефлектори. Невелика частина поверхневої хвилі відбивається від кожного рефлектора і рухається назад по кристалу в напрямку ЗШП. Частина, що залишилася поверхневою хвилею продовжує рухатися до кінця підкладки і там згасає. Таким чином, з одного імпульсу опитування генерується кілька відповідних імпульсів, причому кожен рефлектор створює свій імпульс у відповідному сигналі транспондера. Ця послідовність імпульсів, отримана ЗШП і перетворена в високочастотну послідовність електромагнітних імпульсів, випромінюється антеною транспондера і може бути прийнята рідером. Число прийнятих імпульсів відповідає числу рефлекторів на підкладці [5].

Слід особливо відзначити, що час затримки між окремими імпульсами пропорційний просторовій відстані між рефлекторами на підкладці, і тому просторове розташування рефлекторів можна представляти як подвійну послідовність цифр, яка в найпростішому випадку дорівнює ідентифікаційним кодам транспондера (кількість різних кодів дорівнює величині $2n-1$, де n - число рефлекторів на підкладці). Розташування рефлекторів і, тим самим, зчитування коду визначається при виготовленні пристрою. Тому транспондери ПАХ належать до категорії транспондерів «тільки читання». Об'єм зберігання даних і швидкість передачі даних транспондера на ПАХ залежать від розміру

підкладки та мінімального реалізованої відстані між рефлекторами. Звичайний транспондер на ПАХ передає близько 16 або 32 біт зі швидкістю передачі 500 кбіт / с. У зв'язку з невисокою швидкістю поширення поверхневих хвиль по підкладці, перший імпульс у транспондера приймається зчитувачем з затримкою, що дорівнює приблизно 1,5 мс. Для порівняння: тимчасової затримки приблизно в 0,66 мкс цілком достатньо, для загасання перешкод в радіусі 100 м навколо рідера [5].

Таким чином, у відповідь сигнал транспондера приходить, коли все відображення від оточення рідера давно припинилися, і такого роду перешкоди не вносять помилки в послідовність дій у відповідь імпульсів від транспондера. Транспондери на ПАХ є повністю лінійними пристроями і відповідають на імпульс опитування з певною фазою. Більш того, фазовий кут і диференціальний час поширення між відбитими індивідуальними сигналами зберігають постійне значення. Це важлива властивість дозволяє збільшити дальність дії транспондера на ПАХ методом усереднення слабких сигналів відповіді транспондера на багато імпульсів опитування. Операція зчитування займає мікросекунду, тому за секунду може бути виконано кілька сотень тисяч циклів читання [6].

Рефлектори реалізуються за допомогою системи металізованих смужок на п'єзоелектричній підкладці або системи канавок, які формують шляхом травлення. У деяких випадках елементи рефлектора створюються у вигляді діелектричних шарів з використанням методу іонної імплантації. Електроди транспондера створюються за допомогою фотолітографічної процедури, яка аналогічна тій, що використовується в мікроелектроніці при виробництві інтегральних схем [6].

Найбільш перспективною є використання виробничих лінійок на базі систем наноімпрінтлітографії. Вона передбачає покрокове штампування в рідкий мономер з наступним його затвердінням ультрафіолетовим випромінюванням. Такий підхід дозволяє створювати нанорозмірні структури, що здешевлює вартість продукції, так як на одній пластині стає можливим розмістити більшу кількість міток, а також покращує робочі характеристики продукції, що випускається [4].

2.1.3 Варіанти кодування даних в мітках на ПАХ

У транспондерах на ПАХ застосовуються в основному такі методи кодування даних: кодування методом включення-виключення імпульсу (а) і кодування тимчасової позиції імпульсу (б) [8].

а) У найпростіших транспондерах на ПАХ використовується метод кодування даних включенням-виключенням імпульсу, при якому кожна можлива позиція імпульсу кодує один біт даних. Наявність або відсутність імпульсу у відповідному сигналі ПАХ-транспондера визначається топологією розташування рефлекторів на п'єзоелектричній підкладці. Кожен рефлектор створює свій імпульс у відповідному сигналі ПАХ-транспондера, при цьому час затримки між окремими імпульсами пропорційна просторовій відстані між рефлекторами на підкладці. Проміжки, вільні від імпульсів, відсутні. Розміщуючи відповідним чином рефлектори на підкладці, можна сформувати необхідний двійковий код, який надається послідовністю імпульсів відповідного сигналу транспондера [8].

б) У комерційних системах на ПАХ використовується метод кодування тимчасової позиції імпульсу [8].

У цьому випадку необхідний так званий імпульс початку (стартовий імпульс), щоб забезпечити тимчасову синхронізацію для даних інших імпульсів. Кожен імпульс може займати одну з 4 можливих тимчасових позицій. Відповідна група даних з 2 бітів кодується цим імпульсом. Між групами даних існують проміжки, вільні від імпульсів [8].

При цьому методі кодування ширина імпульсних слотів збільшується приблизно в два рази, щоб забезпечити чіткий розподіл суміжних позицій, які можуть займати імпульси.

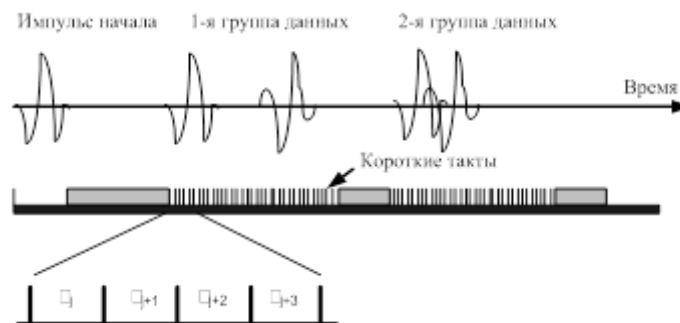


Рис. 2.1:3.1 Імпульсні слоти

В цілому, кодування тимчасової позиції імпульсу і кодування включенням-виключенням імпульсу забезпечують приблизно однакову щільність даних на одиницю часу. Однак перевагою методу кодування тимчасової позиції імпульсу є 50-відсоткове зменшення імпульсних даних, що означає 50-відсоткове зменшення числа рефлекторів на транспондері [4].

Завдяки використанню обмеженого числа рефлекторів поліпшується детектування даних (в кожній групі даних існує тільки один імпульс) і забезпечується сталість амплітуд імпульсів даних. Незважаючи на те, що кожен рефлектор трохи зменшує амплітуду сигналу, постійне число рефлекторів означає, що імпульси сигналу, які породжуються останніми рефлекторами, завжди мають постійну амплітуду [8].

2.1.4 Частотні діапазони РЧІД-систем

Існуючі системи радіочастотної ідентифікації працюють в декількох неліцензованих частотних діапазонах. В даний час для кожного з виділених діапазонів діють свої стандарти [4]. Системи РЧІД відповідно до міжнародних стандартів ISO поділяються на чотири класи:

- 1) Низькочастотні, з робочим діапазоном частот 125 - 135 кГц;
- 2) Високочастотні системи - 13,56 МГц;
- 3) Надвисокочастотні системи - 850 - 950 МГц;
- 4) Надвисокочастотні, - 2,4 ГГц.

Системи RFID в кожному частотному діапазоні мають свої переваги і недоліки, тому вибір конкретного діапазону в цілому залежить від сфери застосування. Низькочастотні системи ідентифікації мають низьку швидкість передачі даних і меншу відстань зчитування в порівнянні з високочастотними системами. Так само зі зростанням частоти здатність проникнення електромагнітних хвиль в різні матеріали зменшується. Низькочастотні системи зазвичай взаємодіють на відстані в межах одного метра. В силу фізики поширення хвиль в цьому діапазоні, низькочастотні мітки найбільш підходять для додатків, де потрібна здібність електромагнітних хвиль проникати в різні поверхні. Подібні області застосування включають маркування тварин, контроль доступу. Для деяких об'єктів були створені спеціальні стандарти [8].

Високочастотні системи характеризуються більш високою швидкістю передачі даних (~ 106Кбіт). Також, більш висока тактова частота дозволяє постачати мітки додатковими функціональними можливостями, такими як шифрування даних і можливість перезапису даних в мітці. Сфери застосування таких систем: електронні посвідчення особи, маркування виробів, банківські та смарт карти, контроль технічних процесів [4].

Таблиця 2.1.4.1

Діючі стандарти систем РЧІД

Робоча частота	Стандарт	Галузі застосування
125 кГц 135 кГц	ISO 14223 ISO 11784 ISO 11785 ISO 18000-2	Розробленні для ідентифікації тварин
13.56 МГц	ISO 14443 ISO 15693 ISO 10373 ISO 18000-3	Безконтактні смарт-карти для широкого кола додатків Безконтактні мітки для логістики, ідентифікації товарів
860-930 МГц	ISO 15961 ISO 15962 ISO 15963 ISO 18000-6	Безконтактні мітки для логістики, ідентифікації товарів з середньою дальністю
2.45 ГГц	ISO 15961 ISO 15962 ISO 15963 ISO 18000-4	Безконтактні мітки для логістики, ідентифікації товарів зі збільшеною дальністю

Для СВЧ систем ідентифікації в Європейських країнах виділено частотний діапазон 866-869 МГц. Радіус взаємодії мітки і зчитувача в межах 2 - 8 метрів. Системи характеризуються високою швидкістю передачі даних. Тому СВЧ системи ідентифікації найбільш підходять для транспортної та складської логістики. З іншого боку, для роботи мітки потрібна велика потужність приймально-передавальної базової станції. У разі ідентифікації об'єктів з непрозорих матеріалів для електромагнітних хвиль застосовують особливі конструкції міток. Залежно від частотного діапазону, системи радіочастотної ідентифікації використовують різні засоби взаємодії мітки і зчитувача, методи модуляції і кодування даних. Крім відомих стандартів ISO, широке поширення і популярність отримали стандарти EPC Global. У стандартах EPC Global виділені наступні класи [8].

Клас 0. Група пасивних міток для ідентифікації об'єкта. Ці мітки містять тільки, так званий, «електронний код продукту» (Electronic Product Code, EPC) в незмінному вигляді і використовує перевірку CRC для виявлення помилок [8].

Клас 1. Група пасивних міток з функціональними можливостями. Ця велика група міток містить всі мітки, які мають будь-які додаткові функції, що відрізняють їх від першої групи. Прикладом таких функцій може бути перезаписаний EPC, шифрування даних і т.п [8].

Клас 2. Група «напівпасивних» міток. До цієї групи були віднесені всі мітки, які використовують додатково джерело живлення. При цьому основним джерелом харчування повинен бути зчитувач енергії, який випромінюється [8].

Клас 3. Група активних міток. Ці мітки містять вбудоване джерело живлення, що повністю забезпечує мітку необхідною енергією незалежно від зчитувача [8].

Клас 4. Група активних міток. Ці мітки не тільки містять вбудоване джерело живлення, але і набір певної логіки, що дозволяє мітці обмінюватися даними з такою ж міткою або звичайним зчитувачем [8].

Найбільш перспективними сьогодні є системи, що використовують новітній НВЧ протокол Generation 2, запропонований організацією зі стандартизації EPC Global. Generation 2 являє собою концепцію з поліпшеними якість і стандартами роботи, такими як функціонування декількох зчитувачів в безпосередній близькості один від одного, відповідність усім нормам світових регулюючих органів, високий рівень якості зчитуємості міток, висока швидкість зчитування, можливість багаторазового запису інформації на мітки і підвищений рівень безпеки. Даний протокол повністю відповідає існуючим вимогам [1].

2.2. Чіпова РЧІД мітка, обґрунтування вибору технології

Щоб ідентифікувати безліч вироблених об'єктів, схема пам'яті повинна мати можливість зберігання достатньої кількості унікальних кодів. Оптимальним вважається обсяг пам'яті в 96 біт. Більшість без чіпових міток в даний час дозволяють зберігати 24 біта або менше, хоча деякі дозволяють зберігати 64 біта. Однак, збільшення розміру пам'яті приводить їх вартості мітки [5]. Через зростання числа і зниження розміру об'єктів, на які встановлюються мітки, необхідно, щоб зчитувач був здатний одночасно зчитувати безліч міток, які перебувають в зоні його дії; причому мітки можуть розміщуватися близько один від одного. В даний час найкращим способом вирішення такого завдання - колізії сигналів - є наділення самих міток деяким інтелектом. На рисунку 2.2.1 представлена типова чіпова мітка та її елементи [4].



Рис.2.2.1 Елементи чіпа

Переваги чіпових міток:

1) мають достатньо пам'яті, щоб зберігати унікальний ідентифікаційний номер великого числа об'єктів;

2) простота реалізації зчитування декількох елементів одночасно. Безчіпові мітки не мають в своєму складі модуля пам'яті, і тому можуть зберігати набагато менший обсяг інформації. Однак існує безліч прийомів, спеціальних кодувань сигналу, які дозволяють в повній мірі конкурувати з чіповими аналогами. Крім того, також можливо зчитування відразу декількох міток одночасно. Без чіпові мітки - мітки з найнижчою вартістю, які забезпечують оптимальний мінімум функціональних можливостей і прості конструкції тільки зчитують пристрої з постійним унікальним ідентифікаційним кодом. Функціональність чіпових міток значно ширше, ніж без чіпових. Чіпові мітки можуть зберігати великі обсяги інформації, але вартість виробництва таких чіпів висока. Чіпові мітки містять інтегральну мікросхему – чіп (рис. 2.1.1), а без чіпові її не містять [4].

2.3. Тип зберігання даних

З точки зору зберігання інформації в RFID-системах мітки також діляться на два класи: до першого належать мітки з унікальним підписом, а до другого - відносяться мітки з цифровим кодуванням. Наприклад, в якості підпису можуть виступати випадковим чином орієнтовані магнітні смужки, що знаходяться в мітці [10].

Для роботи з такого роду тегами необхідно щоб всі рідери мали зв'язок з комп'ютерною системою або мали повну інформацію про тезі в рідері. Система застосовується в основному в управлінні доступом. До другого класу відносяться мітки з цифровим кодуванням. Така мітка зберігає інформацію, кодовану за певними правилами [10].

Таким чином, рідери можуть зчитувати дані прямо з тега без необхідності звернення до централізованої бази даних. Мітки з цифровим кодуванням дорожчі, але зате і більш функціональні, тому що не вимагають великих обчислювальних потужностей, часу і складних систем зв'язку, як того вимагають системи з унікальною підписом [10].

Спосіб запису інформації. Інформація в пристрій пам'яті радіочастотної мітки може бути занесена різними способами, причому спосіб запису інформації залежить від конструктивних особливостей мітки. Залежно від цього розрізняють такі типи: Read Only - мітки, які працюють тільки на зчитування інформації. Вони необхідні для зберігання даних, які заносяться в пам'ять мітки виробником і не можуть бути змінені в процесі експлуатації [10].

Write Once Read Many (WORM) - мітки для одноразового запису і багаторазового зчитування інформації. Вони надходять від виробника без будь-яких даних користувача в пристрої пам'яті. Необхідна інформація записується самим користувачем, але тільки один раз. При необхідності змінити дані буде потрібна нова мітка [15].

Read / Write - мітки (R / W) багаторазового запису і багаторазового зчитування інформації [4]. Антени можуть бути різних розмірів та форм. Так вони можуть вбудовуватися в дверну коробку, щоб отримувати дані про людину, що пройшла через двері; або ж монтуватися над автострадою для моніторингу транспортного потоку. Одна антена може одночасно зчитувати кілька міток, що знаходяться в зоні її дії [15].

Моделі в COMSOL Multiphysics використовуються для розрахунку дальності зчитування міток, якщо ж не влаштовує дальність зчитування, то можна оптимізувати конструкцію, щоб збільшити дальність, наприклад так можна зробити в RFID-антені Murata-A3 з довговічною міткою (рис. 2.3.1) [6].

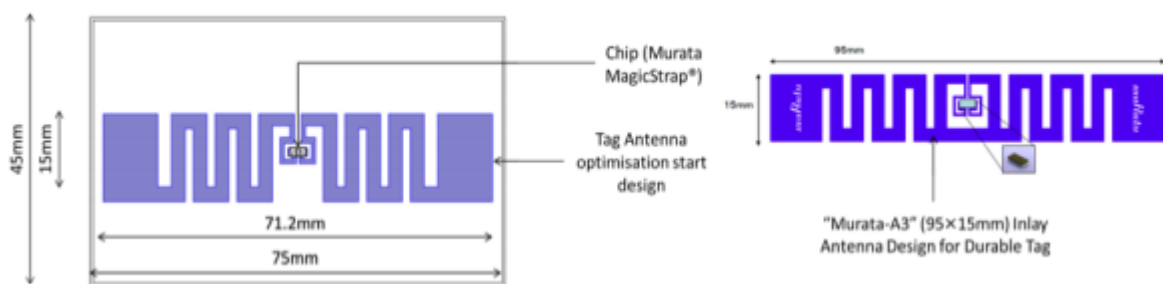


Рис 2.3.1. Зразок конструкції антени мітки ($71,2 \times 15$ мм) і РЧІД антена Murata-A3 (95×15 мм) з довговічною міткою [6].

Рідер і його моделі антен складаються з наступних складових:

- Електронний компонент Murata MAGICSTRAP® (Murata Manufacturing Co., Ltd., Japan).

Центральна частота схеми: 866,5 МГц.

- Рідер великої дальності OBID i-scan® LRU1002 UHF (FEIG Electronic GmbH, Germany).

Потужність рідера: 1 Вт (на середніх дальностях);

- Антена OBID i-scan® UHF (FEIG Electronic GmbH, Germany);

- Антена рідера: ID ISC.ANT.U.270 / 270.
Коефіцієнт посилення антени рідера: 9 дБі;
Комплексний опір схеми: 15-45 jω;
Матеріал підкладки мітки: FR4 (товщина 250 мкм) [6].

2.4 Зчитування РЧІД мітки

RFID-зчитувач (рідер) – пристрій, що використовується для запису інформації на мітку та безпосередньо зчитування інформації з неї. В залежності від функціональних можливостей та технічних характеристик, рідери можуть бути: настільними, ручними, а також інтегрованими в платіжні системи, системи контролю доступу, вендингові апарати [12].

Існує два типи зчитувачів для міток – контактні та безконтактні. Для електронної ідентифікації та проведення платіжних операцій, що потребують високого рівня захисту, частіше всього використовують контактні зчитувачі, що працюють відповідно до міжнародного стандарту ISO 7816. Безконтактні зчитувачі обмінюються даними з міткою на відстані за допомогою радіосигналів, які підтримують стандарти (ISO 14443 (A,B) , ISO 15693, ISO 18092 (NFC)). Вони використовуються для здійснення безконтактних платежів, у системах контролю доступу [12].

Зчитувач забезпечує різну дальність зчитування. Самі прості зчитувачі зазвичай забезпечують відстань зчитування від 1 до 10 см. Відстань залежить від виконання ідентифікатора [12].

Брелки та браслети – маленькі, компактні ідентифікатори – зчитуються найбільш погано. Саме краще зчитуються тонкі карти, стандартного розміру. Особливості дальнього зчитування карт EM-Marine – це те, що відстань суттєво падає, якщо біля карти або зчитувача є перешкода [12].

Найкраще всього карта зчитується, коли вона знаходиться в площині, паралельної до площини зчитувача. В Україні можна зустріти чіпи EM Marine в різних типах ідентифікаторів. Типи ідентифікаторів : Товсті картки

ЕМ-Marine – вироблені з АБС пластику із спеціальною проріззю під кліпсу любого тримача для картки [15].

Тонкі картки ЕМ-Marine – вироблені із PVC пластику, призначені для прямого нанесення зображення за допомогою сублімаційного принтера. Брелоки ЕМ-Marine – можуть бути виготовлені з різних матеріалів, від шкіри до скла а також мають різні геометричні форми. Дальність зчитування у брелока менша ніж в картки [11].

Браслети ЕМ-Marine – можуть бути як одноразові так і багаторазові. Одноразові браслети виготовляються з паперу і після надівання його на руку, браслет неможливо зняти без пошкодження самого браслету. Багаторазові браслети найчастіше виготовляються з силікону і можуть бути зняті в будь-який момент без пошкодження браслету [11].

Мітки ЕМ-Marine – можна знайти у будь якому вигляді і формі.

Мінуси ЕМ-Marine :

1. Відсутність будь-якого захисту від клонування чіпу – це вважається найбільш великим недостатком чіпів ЕМ-Marine, адже для клонування потребується тільки программатор та картка з властивістю перезапису. Ці прилади доступні в будь-якому крупному місті, наприклад у організацій, які займаються виробленням дублікатів для домофонних ключів [11].

2. Відсутність унікального номеру – через те, що карти з чіпом ЕМ-Marine виробляють дуже багато компаній світу, унікальний номер записаний на карті може повторюватись у різних виробників [11].

2.5 HF чіп

В Україні HF-чіпи представленні стандартом Mifare. Mifare – безконтактна технологія смарт-карт, що належить Нідерландській компанії NXP Semiconductors [6].

Окрім цієї компанії згідно з ліцензійним договором чіпи Mifare також може виробляти німецька компанія Infineon. Тільки карти з чіпами від NXP Semiconductors та Infineon можуть мати в своїй назві торгову марку Mifare і

тільки їх чіпи можна назвати оригінальними. Існує декілька крупних виробників чіпів, які роблять аналоги чіпів з таким стандартом. Вони виробляють чіпи посилаючись на міжнародний стандарт ISO 14443 Type A, так як не мають права використовувати торгову марку Mifare. Такі чіпи є менш дорожчими за оригінальні, але вони є й менш якісними. Серійний номер чіпу Mifare Classic 1k дорівнює 4 байтам, з цього випливає, що існує кінцева кількість чіпів з унікальним номером. NXP Semiconductors строго контролює випуск чіпів, то всі оригінальні чіпи мають унікальний неповторний номер. Унікальність серійного номеру це одна з причин, чому компанія NXP зупинила виробництво чіпів Mifare Classic, на заміну ним прийшли Mifare Plus. Чіпи марки Mifare другий за популярністю тип ідентифікаторів СКУД в Україні. Вони дорожче за EM-Marine, але на відміну від них мають захист від клонування та копіювання. Технологія заснована на популярному стандарті ISO 14443, що дозволяє суміщати їх з чимось іншим [6].

Види карт з оригінальним чіпом Mifare: Mifare Ultralight – найпростіші карти бренду Mifare, випускаються як з криптографічним захистом 3DES так і без нього. Mifare Classic – один з найпоширеніших чіпів Mifare. В ньому використовується алгоритм шифрування Crypto 1, який не може задовольнити сучасні стандарти. На сьогоднішній день виробництво даного чіпу зупинено через те, що закінчуються унікальні номери, а також через проблему захисту. Mifare Plus – цей чіп не має таких недоліків як Mifare Classic. Він підтримує сучасні алгоритми шифрування такі як AES. Mifare Desfire – найбільш захищені картки серії Mifare, саме їх використовують в самих захищених системах контролю доступу для Європейської комісії (орган виконавчої влади Євросоюзу) [14].

Електронні мікросхеми сімейства Mifare Classic пропонують надбудову над стандартом ISO 14443 з криптографічним захистом даних. Ці смарт-карти ідентифікуються 4-байтовим або 7-байтовим незмінним унікальним кодом і містять 1 або 4 КБ призначених для користувача і конфігураційних

даних карти. Для захисту використовується криптоалгоритм Crypto-1. Однак з огляду на те, що він виявився не надто складним, за допомогою реверс-інжинірингу він був «зламаний». Недоліки алгоритму стали причиною численних нападок на Mifare і на безконтактні технології взагалі [14].

2.6. Конструкція мітки

На рисунку 2.6.1 зображена конструкція пропонованої мітки на ПАХ.

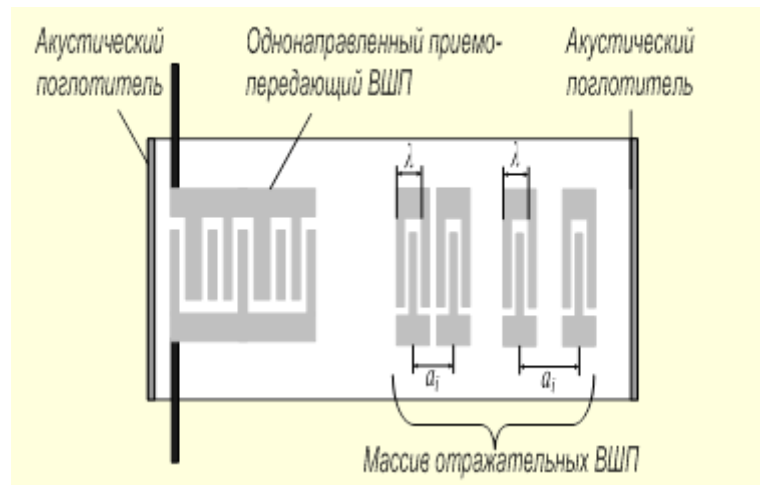
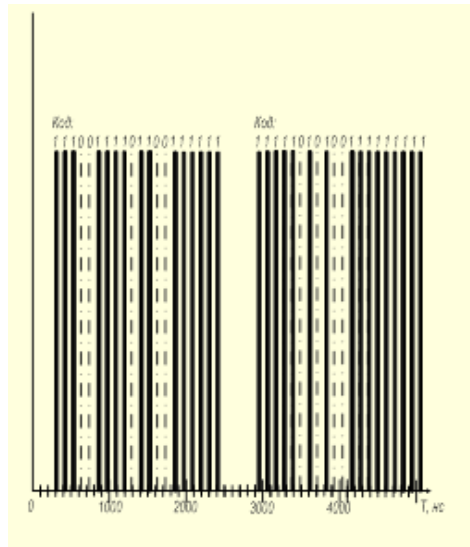


Рис. 2.6.1 - Конструкція РЧІД-мітки на ПАХ

Візьмемо найпростіший спосіб кодування даних включенням-виключенням імпульсу. У цьому випадку наявність відбивача на заданому фіксованому проміжку буде сприйматися як 1, відсутність як 0.

Покажемо також можливість одночасного опитування декількох міток при пересуванні масиву відбивачів на відстань від 1 до 10 мм. Зобразимо це в вигляді діаграми, представленої на рис. 2.6.2.



2.6.2 Рис. Тимчасова діаграма положення відбивачів при переміщенні масиву щодо приймально-передавального ВШП

Таким чином, як видно з діаграми, є можливість виключити накладення сигналів переміщенням масиву відбивачів щодо приймально-передавального ВШП при одночасному опитуванні відразу декількох міток [6].

Визначення габаритних розмірів проекрованої мітки. Визначаємо довжину звукопровода [15]. $L_d = L_{vx} + L_{отр} + L_1 + 2L_2$, де L_{vx} - довжина вхідного перетворювача; $L_{отр}$ - довжина масиву відбивачів; $L_1 = 1 \dots 10$ мм - відстань між приймально-передавальним ВШП і першим відбивачем масиву; $L_2 = 5 \dots 10$ мм - відстань між крайнім електродом перетворювача і торцевою гранню звукопровода [6].

Довжина вхідного перетворювача: $L_{vx} = 17 \cdot 18/16 \lambda + 16 \cdot 10 / 16\lambda = 71,72 + 37,5 = 109,22$ (мкм).

Довжина масиву віддзеркалювачів: $L_{отр} = \sum a_i + (20-1) R = 5172,67$ (мкм). тоді: $L_{dmax} = 109,22 + 5172,67 + 10000 + 5000 = 20282$ мкм $\approx 20,3$ (мм).

Ширина звукопроводу, мм: $L_y = W_{ent} + 2(L_3 + L_4) = 0,3 + 2(5 + 0,00093) = 10,3$, де $L_3 = 5 \dots 10$ мм - відстань між загальною шиною решітки перетворювача і поздовжньої гранню звукопровода; $L_4 = 2d$ - ширина загальної шини решітки перетворювача [2].

Товщина звукопроводу вибирається близько 20λ для зменшення впливу об'ємних хвиль. У нашому випадку товщина звукопроводу становить 75 мкм [6].

2.7. Стадія попередньої обробки поверхні підкладок

При шліфуванні робочої поверхні звукопроводу використовується асимптотичний метод, тобто послідовна обробка все більш дрібними корундовими шліфпорошками. Шліфування починається порошками №25 і №3, а потім мікропорошками М20, М10 і М5. Це дозволяє отримати чистоту поверхні близько 10 і глибину порушеного шару монокристала 5-7 мкм [16].

Обробка звукопроводу діаметром 76 мм виробляється вільним абразивом по груповому методу на шліфувальному верстаті планетарного типу. Під час процесу також можливий активний контроль товщини за допомогою вимірювання інтенсивності п'єзошумів.

Полірування робочої поверхні звукопроводу з ніобата літію виробляється на полірувальному верстаті типу В1М3.105.001 з використанням на початковому етапі алмазної пасти АСМ 715 або АСМ 5/3, на кінцевому етапі алмазною пастою АСМ 1/10 [14].

2.8 Попереднє очищення підкладок ніобата літію

Для отримання хорошої адгезії і відтворюваності електрофізичних властивостей наносяться на підкладку електродів, поверхня звукопроводу повинна бути піддана ретельному очищенню. Спосіб очищення багато в чому залежить від обраного методу подальшої металізації [14].

Стадія попереднього очищення підкладок ніобата літію складається з наступних етапів [12].

Етап 1: промивка в трихлоретиленом (близько 10 хвилин).

Етап 2: промивка в ацетоні (близько 10 хвилин).

Етап 3: промивка в метанолі і воді.

Етап 4: занурення в суміш з трьох частин води, однієї частини концентрованої лугу NH_4OH і однієї частини 30% - го нестабільного перекису водню H_2O_2 на 10 хвилин при температурі 75°C .

Етап 5: ультразвукова відмивання в ванні з миючим засобом при температурі 65°C (приблизно протягом 10 хвилин).

Етап 6: відмивання від миючого засобу водою з питомим опором 18 МОм (при температурі 65°C).

Етап 7: промивка в проточній воді, яка має питомий опір 18 МОм протягом 30-60 хвилин при температурі 65°C .

Етап 8: сушка і оцінка кута змочуваності зразка.

Етап 9: повторна промивка у воді і просушування в потоці сухого азоту.

Етапи 1, 2 і 3 призначені для видалення легкокорозійних забруднень, а на етапі 4 - важкорозійних. На етапі 5 використовується 1% -ний розчин основного миючого засобу технічної чистоти. Миючий засіб може містити іонні домішки, так як їх наявність не має значення для технології пристроїв на ПАР [14].

На етапі 8 оцінюється ступінь очищення поверхні за характером змочування поверхні зразків водою. Кут між поверхнею краплі води і поверхнею зразка в більшій мірі залежить від забрудненості поверхні. Для визначення цього кута зразок фторо-пластовим вакуумним пінцетом виймається з ванни з чистою водою. Так як вода і підкладка підігріті, вода швидко випаровується і стягується у напрямку від країв пластини до її центру. Якщо поверхня зразка вільна від забруднень, то поверхня води на межі розподілу утворює гострий кут з поверхнею підкладки, і в тонкому граничному шарі води чітко видно інтерференційні кільця. В іншому випадку поверхня води утворює з поверхнею зразка тупий кут і інтерференційні кільця не спостерігаються [14].

2.9 Остаточне очищення підкладок від забруднень

Для остаточного очищення поверхні використовують розчин наступного складу: натрій вуглекислий - 6 г, тринатрій фосфат - 8 г, метасиликат натрію - 10 мл, змочувач ОП-10 - 3 мл, дистильована вода до 1 л.

Підкладки поміщаються в стакан з миючим розчином і нагріваються до 60 ± 5 ° С. Після цього проводиться обробка пластин в ультразвуковій ванні протягом трьох хвилин при тій же температурі. Потім проводиться промивка в нагрітій до 60 ° С деіонізованій воді і знову підкладки піддаються ультразвуковій трихвилинній обробці, але вже в дистильованій воді при температурі 50 ° С. Для поліпшення якості очищення промивку в поді повторюють кілька разів. На завершення звукопроводи кип'ятять в ацетоні протягом 3-х хвилин. Сушка здійснюється в парах ацетону на відстані 1,5 - 2 см над його поверхнею протягом 45 ± 15 с [14].

Використання ультразвукової обробки дозволяє видалити з поверхні звукопроводу залишки масел і мастик після шліфування й полірування [12].

При промиванні підкладок і хімічній обробки застосовується сучасна установка хімічної очистки «Лада-М», використання якої дозволяє значно скоротити час проведення стадій попередньої і остаточної очищення підкладок. Вона має в своєму складі технологічний модуль змінюваної конфігурації, який містить ванни для хімічної очистки, стоп-ванну, ванни фінішної промивання. Блок подачі хімічних реактивів забезпечує автоматизовану дозовану подачу реактиви в ванни з блоків хімічної підготовки розчинів. Можлива також групова касетна обробка підкладок. Управління технологічним процесом і контроль параметрів, що задаються здійснюється за допомогою ЕОМ [11].

2.10 Формування електродних структур

Технологія виготовлення акусто-електронних пристроїв на ПАР зводиться до формування заданої конфігурації металевих електродів і контактних шин. При цьому до якості структур висуваються жорсткі вимоги. Не допускаються обриви електродів, що найбільш небезпечні в області центрального пелюстки зустрічно-штирьовий структури. Не допускаються замикання електродів в зоні їх взаємного перекриття, поза цією зоною можлива наявність не більше трьох - п'яти дефектів типу «острівець», що замикає три-п'ять електродів перетворювача. Також не допускаються наскрізні подряпини чи пори на електродах або контактних майданчиках, а також непрямі подряпини або пори, що зменшують перетин електродів або контактних майданчиків більш ніж на 50%. Не припустима наявність сторонніх часток, що з'єднують будь-які два плівкових елемента структури і не видаляється за допомогою обдування очищеним гасом, а також наявність між електродами окремих металізованих ділянок у вигляді точок, які мають діаметр понад 50% зазору між електродами. Допуски на розміри контактних шин і майданчиків, а також на відстань між окремими перетворювачами складають 5-10 мкм, т. Е. Можна порівняти з допусками на розміри елементів тонкоплівкових ІМС. Неспіввісність розташування зустрічно-штирьових структур щодо базової кромки звукопровода або відносно один одного допускається в межах $\pm (5-20)$ ' [8].

Допуски на розміри електродів ВШП майже на порядок жорсткіше допусків на не розміри елементів тонкоплівкових ІМС. Для отримання загасання бічних пелюсток АЧХ мітки до $\alpha \beta = (50-60)$ дБ задану ширину електродів необхідно витримувати з точністю не гірше $\pm (0,5-0,8)$ мкм, а довжину електродів і їх крок - відповідно не гірше $\pm (0,5-1,2)$ і $\pm (0,2-0,5)$ мкм [14].

Для формування зустрічно-штирьових структур, що відповідають перерахованим вимогам, можна використовувати ті ж методи, що і для

отримання заданої конфігурації елементів ІМС по планарній технології: фотолітографію (з зазором, контактну, проекційну); голографію; променеву обробку (пучком іонів, променем лазера, рентгенівським променем, растрову і проекційну обробку електронним пучком) і т. д. В даний час найбільш перспективним методом для виготовлення елементів нанометрового розміру є наноімпрінтлітографія (НДЛ) з покрокової штампуванням в рідкий мономер з наступним його затвердінням УФ-випромінюванням [12]. Вибір даного процесу виготовлення зустрічно-штирьових структур багато в чому пояснюється мінімальними розмірами ширини електродів ВШП ($\lambda / 4 \approx 937$ нм), а також необхідність точного дотримання міжелектродного відстані (в приймально-передавальному ВШП воно досягає до $3 / 16\lambda \approx 703$ нм). Крім того, вартість установки для НДЛ порівняна з вартістю систем для контактної фотолітографії [12].

НДЛ-процес проводиться з використанням твердих (на основі пластин кварцу) зазвичай однорівневих наноштампів з площею штампування (10x10 мм, 15x15 мм, 26x32 мм і 26x33 мм), що переміщуються по поверхні пластин діаметром до 300 мм, на яких негативний по відношенню до одержуваному на робочій пластині топологічний малюнок з розмірами елементів до 20 нм формується на одному рівні по висоті в шарах кварцу або плівках двоокису кремнію товщиною від 100 до 200 нм. Після рідинного прояву і плазмової зачистки топологічного малюнка та міток суміщення в електронорезисте проводиться травлення плівки хрому і видалення залишків електронорезистивної маски. Хром служить маскою для реактивного іонного травлення кварцу в газорозрядній плазмі на основі хладону-23 (CHF_3) на глибину 100-200 нм. Потім шар хрому віддаляється в рідинному Травителі з поверхні кварцу, і на ній шляхом травлення в розчині плавикової кислоти через маску формується п'єдестал із заданою площею і висотою 15 мкм [10].

Площа п'єдесталу визначає площу штампування. З однієї фотошаблони заготовки за допомогою різання і обробки можна отримати 4 наноштампа розміром 65х65 мм [12].

Наноштамп розміром 26 × 32 мм містить 3 види міток. в кожному з яких по 20 відбивачів, розташованих на різних відстанях від приймально-передавального ВШП. Масиви з 20 відбивачів не перекриваються, останній відбивач в попередній мітці завжди ближче на одне тимчасове положення, ніж перший відбивач в подальшій мітці. Загальна кількість тимчасових положень, в яких можуть знаходитися відбивачі, дорівнює 100 [10].

Перед штампуванням поверхню наноштампов обробляється розчином або аерозоль аморфних фторполімерів або в розряді фторуглеродов з метою створення на їх поверхні надтонкою (мономолекулярної) плівки для кращого відділення наноштампа від матеріалу після штампування. На початковому етапі поверхню пластини, як гладка, так і з раніше створеним топологічним рельєфом, попередньо покривається за допомогою центрифуги органічним передавальним шаром, який одночасно виконує адгезійну і планарізіруючу функції. Товщина шару варіюється в залежності від висоти рельєфу на пластині від 1 до 700 нм. Як передавальний шар можуть використовуватися шари полііміда, органічних фоторезистів і антиотражаючих покриттів. На область пластини, підвергаемую штампування, за допомогою системи подачі з мікросопла системи НДЛ наноситься шар кремнійвміщуваних фотополімеризуються (під дією ультрафіолетового (УФ) випромінювання ($\lambda = 365$ нм) рідкого мономеру з низькою в'язкістю (<5 сантипуаз). Цей шар також називається друкованим або бар'єрним до травленню шаром, і його вихідна товщина варіюється в залежності від висоти рельєфу наноштампа 75-270 нм [12].

Перед штампуванням через прозорий наноштамп за допомогою пристрою сполучення системи і набору міток, розташованих на наноштампе і пластині, здійснюється поєднання їх топологічних малюнків. Системи НДЛ

забезпечують точність суміщення (відхилення) топологій на наноштампе і пластині від 1 мкм до 20 нм [12].

Після нанесення друкованого шару проводиться процес штампування (друк наноштампа в рідкий мономер), яка здійснюється при кімнатній температурі і тиску нижче 0,07 атмосфер. Потім проводиться УФ-опромінення рідкого мономера через кварцовий наноштамп з метою його затвердіння. При цьому обсяг мономера трохи зменшується, що дозволяє легко витягти наноштамп з затверділого друкованого шару [10].

Потім на поверхню цього полімерного шару з топологічним малюнком за допомогою центрифуги наноситься шар кремній полімеру і проводиться його изотропное травлення (рідинне хімічне або плазмохімічне) до виходу на поверхню кордону органічного фотополімерного шару. Після цього проводиться анізотропне травлення в кисневмісній плазмі фотополімерного і передавального шарів до поверхні підкладки або підлягає функціонального шару, і формується звернена (негативна) топології наноштампа маска (рис. 2в, четвертий етап) [12].

Для виготовлення топологічного рельєфу РЧІД-мітки найбільш доцільно застосувати вибухову звернену НДЛ. У порівнянні з прямою звернена НДЛ дозволяє одержувати більш якісний топологічний малюнок на непланарних поверхнях пластин в більш товстих передавальних шарах [10].

НДЛ може бути поєднана зі стандартною оптичною проекційною фотолітографією для отримання топології на шарах з найменшими розмірами. Для цього наноштамп (набір наноштампів) поєднується з комплектом фотошаблонів по площі друкуються на пластині кристалів і матюками суміщення топології. Даний метод можна застосовувати при кодуванні даних шляхом підбурювання окремих відбивачів за допомогою спеціального кодує фотошаблону. З метою зменшення акустичних втрат в металевій плівці товщина напилення вибирається рівною не більше 1000 ангстрем (100 нм). Шини приймально-передавального ВШП створюються з використанням

додаткового фотошаблону з вікнами для напилення металевої плівки товщиною 3000 ангстрем [12].

Напилення алюмінієвої плівки виробляється в установці УВН-75П-1 із застосуванням електронно-променевого випаровування з тигля, застосування якого дозволяє істотно поліпшити адгезію до поверхні звукопровода і відмовитися від адгезійного підшару з ванадію.

Висновок до Розділу 2

Чіпові РЧІД мітки мають достатньо пам'яті, щоб зберегти унікальний ідентифікаційний номер великого числа об'єктів, також достатньо просто реалізуються, плюсом є зчитування декількох елементів одночасно. Безчіпові мітки не мають в своєму складі модуля пам'яті, і тому можуть зберігати набагато менший обсяг інформації. Однак існує безліч прийомів, спеціальних кодувань сигналу, які дозволяють в повній мірі конкурувати з чіповими аналогами.

Крім того, також можливо зчитування відразу декількох міток одночасно. Без чіпові мітки - мітки з найнижчою вартістю, які забезпечують оптимальний мінімум функціональних можливостей і прості конструкції, що тільки зчитують пристрої з постійним унікальним ідентифікаційним кодом. Функціональність чіпових міток значно ширше, ніж без чіпових.

Чіпові мітки можуть зберігати великі обсяги інформації, але вартість виробництва таких чіпів висока.

Було обрано технологію та змодельовано РЧІД мітку.

РОЗДІЛ 3. ЗАСОБИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯ РЧІД

Використання систем позиціонування людей і матеріальних об'єктів - одне з актуальних напрямів вдосконалення технологічних і бізнес процесів в самих різних галузях діяльності.

Від моніторингу пересування пацієнтів, персоналу та обладнання в лікарнях - до контролю місцезнаходження робочих, складальних одиниць та інструменту на конвеєрі. Від виявлення постраждалих під час пожежі - до спостереження за поведінкою тварин на вільному випасі з метою виявлення хворих.

Радіочастотні мітки застосовуються в системах позиціонування в реальному часі, де визначається точне місцезнаходження об'єкта. У таких системах радіомаяк випромінює сигнал з унікальним ідентифікаційним кодом по команді або із заданою періодичністю (це може бути кожні три секунду або раз в день, в залежності від того, як часто необхідно отримувати дані про місцезнаходження об'єкта).

Сигнал маячка приймається як мінімум трьома антенами, розташованими по периметру ділянки, на якому відслідковуються об'єкти.

3.1 Вимоги до систем позиціонування.

Системи повинні забезпечувати:

- ідентифікацію контрольованих об'єктів;
- оптимальну точність позиціонування;
- оптимальну періодичність опитування.

Крім того, важливими критеріями є:

- радіус дії (допустима відстань від міток до елементів інфраструктури);
- стійкість;
- стійкість до багатопроменевого загасання (впливу відбитих сигналів);
- малі габарити і вага міток;
- низьке енергоспоживання міток (з метою економії заряду акумуляторів);
- простота розгортання і експлуатації;
- електромагнітна сумісність, необхідність отримання частотного дозволу;
- вартість рішень.

3.2 Системи позиціювання з використанням пасивних радіочастотних ідентифікаторів (RFID)

Основне призначення систем з пасивними RFID мітками - ідентифікація.

Вони застосовуються в системах, що традиційно використовують штрих-коди, або магнітні картки - в системах розпізнавання товарів і вантажів, впізнання людей, в системах контролю і управління доступом (СКУД) і т. д.

Система включає RFID мітки з унікальними кодами і зчитувачі і працює наступним чином:

- Зчитувач безперервно генерує радіовипромінювання заданої частоти.
- ЧІП мітки, потрапляючи в зону дії зчитувача, використовує це випромінювання як джерело електроживлення і передає на зчитувач ідентифікаційний код.

Радіус дії зчитувача становить близько метра. Вартість систем з пасивними RFID мітками перевищує номінальну вартість систем з штрих-кодами або магнітними картками, але використання пасивних RFID істотно розвантажує операторів.

Розглянемо принцип роботи зонального методу:

При локалізації таким методом факт відповіді мітки антени говорить про те, що крапка буде знаходитися всередині зони покриття антени, яка при першому наближенні може бути прийнята до кругової в площині локалізації. Оцінкою розташування мітки при цьому приймається центр мас кругової, або інший метод, для більш складної оцінки - зони покриття. На рис. 3.2.1 показаний приклад в якому використовується п'ять антен (A1 ... A5) перетину зон покриття, що можуть використовуватися для підвищення точності локалізації.

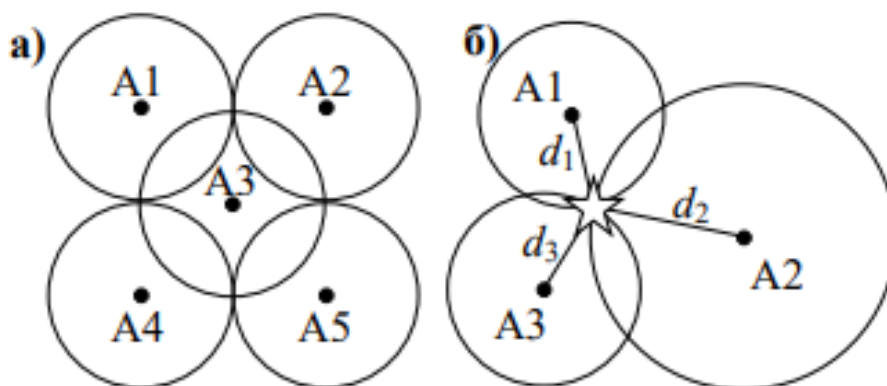


Рис. 3.2.1. Зони покриття антен на площині локалізації (а) і процедура трилатерації (б)
Другой групою відомих методів є геометричний метод, при якому вимірювання величини RSS мітки ставиться в однозначну відповідність деяка дальність d . Таким чином, при

використанні однієї антени для виявлення мітки, за величиною RSS можна вирішити, що крапка буде знаходитися на окружності радіусом d . При використанні трьох антен можна точно визначити координату мітки з допомогою процедури трілатерації (рис. 3.2.1, б). Зіркою на мал б відзначена позиція, в якій знаходиться шукана мітка.

Існує група методів, які можна об'єднати за необхідністю попереднього аналізу всієї зони локалізації з метою збору карти розподілу RSS. При цьому зона локалізації ділиться на осередки, в кожній з яких проводиться вимірювання величини RSS, вміщеній в цей осередок мітки, для кожної з використовуваних n антен. Результатом аналізу є RSS-карта - масив з n таблиць, кожна з яких містить список відповідностей конкретної координати величиною отриманого RSS значення для даної антени. Після отримання карти, для локалізації міток можуть застосовуватися методи пошуку k найближчих сусідів серед елементів таблиць [4] або побудова штучної нейронної мережі з подальшим навчанням за даними з таблиць [5].

Для того щоб враховувати динамічні фактори навколишнього оточення, що негативно впливають на точність локалізації, використовують мітки-маяки. Такі мітки попередньо розміщують по всій площині локалізації. Згодом, при локалізації реальних міток, зміни в величинах RSS від міток-маяків можуть свідчити про зміни в навколишньому середовищі (з'явилося перешкоду, пройшла людина і інше). При цьому може автоматично проводитися калібрування параметрів моделі розповсюдження сигналу при використанні геометричних методів [6], або ж значення RSS локалізуємих міток можуть порівнюватися зі значеннями RSS міток-маяків [7]. В останньому випадку можна говорити, що використовується фізична RSS-карта.

3.3 Структура RFID-системи просторової локалізації

Під технологією RFID зазвичай розуміють процес безконтактного радіочастотного отримання ідентифікаційної інформації від RFID-міток [1, 7].

Типова RFID-система просторової локалізації (рис. 3.3.1) складається з пристрою зчитування (зчитувача), пристрою обробки інформації і набору з M RFID-міток ($M1 - MM$). Зчитувач включає в себе блок прийому, передачі та комутації (БППК) і набір з N антен ($A1 - AN$).

Пристрій обробки інформації включає в себе блок взаємодії і обробки (БВО), блок локалізації (БЛ) і блок зберігання даних (БЗД). БВО приймає запит користувача (П) про початок роботи системи і посилає команду пошуку RFID-міток зчитувача. За цією командою БППК за допомогою антен виконує ініціалізацію сеансів зв'язку з RFID-

мітками, після чого очікує відповідні сигнали. Якщо рівень не започаткованого сигналу в місці розміщення RFID-міток перевищує деяке порогове значення, то ці мітки випромінюють відповідні сигнали, в яких за допомогою процесу модуляції закладена інформація про їх ідентифікатори [7]. При цьому пасивні мітки в якості джерела живлення використовують накопичувач енергії електромагнітного поля сигналів ініціалізації.

Відповідні сигнали від міток приймаються антенами зчитувача і через БППК надходять в БВО. БВО ідентифікує відповідні мітки і передає отриману вимірювальну інформацію в БЗД.

Після цього БВО посилає команду про запуск процесу локалізації відповідним міткам в БЛ. БЛ отримує вимірювальну інформацію кожної мітки з БЗД і виконує алгоритм локалізації, результатом якого є оцінка місця розташування міток. Ця оцінка через БВО передається користувачеві.

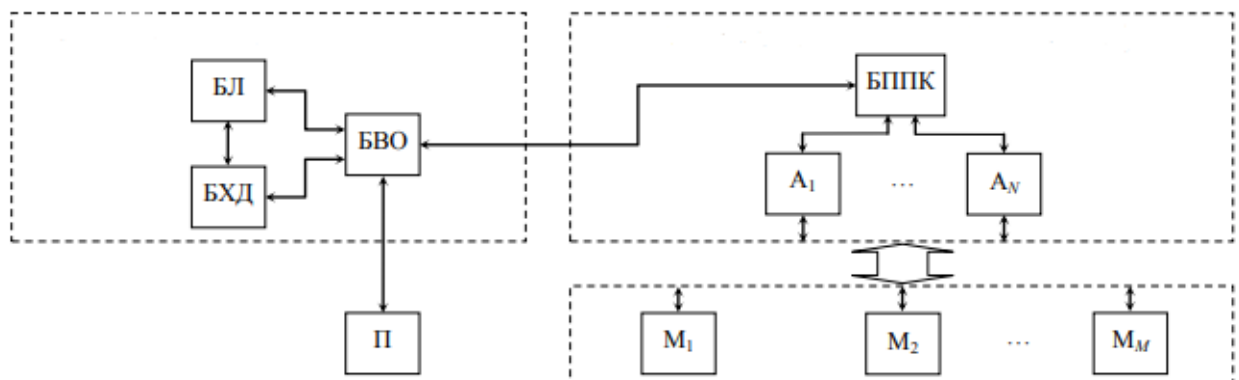


Рис. 3.3.1 Типова RFID-система просторової локалізації

3.3.1 Види вимірювальної інформації

Розглянемо різні види вимірювальної інформації, при обробці якої виконується оцінка місця розташування міток в просторі.

Факт наявності відповіді є вимірювальною інформацією довічного характеру.

Використовуючи цю інформацію, можна вважати, що крапка буде знаходитися в просторі поблизу антени зчитувача, що отримала даний відповідь [8].

Рівень прийнятого сигналу - відомий в літературі як received signal strength (RSS), є найбільш широко застосовуваним видом вимірювальної інформації, використовуваним практично у всіх комерційних реалізаціях зчитувачів [8]. Під RSS зазвичай розуміється рівень потужності отриманого від мітки сигналу. В ідеальних умовах величина RSS однозначно визначає відстань від антени зчитувача до мітки.

Затримка прийнятого сигналу.

Існує два підвиди тимчасової вимірювальної інформації. Time of arrival (TOA), визначається тимчасовою затримкою між моментом початку випромінювання відповідного сигналу міткою і моментом його отримання антеною зчитувача [14].

Вимірювальна інформація TOA використовується для обчислення відстані від антени зчитувача до мітки. при цьому для визначення моменту початку передачі сигналу необхідна тимчасова синхронізація міток, що збільшує вартість системи [14].

Time difference of arrival (TDOA), визначається тимчасовими затримками між моментами отримання сигналу від мітки декількома антенами зчитувача. Вимірювальна інформація TDOA використовується для обчислення різниці відстаней між міткою і антенами системи. При цьому відсутня необхідність тимчасової синхронізації міток [14].

Фазовий зсув прийнятого сигналу - вимірювальна інформація, яка визначається фазовими зрушеннями в сигналах, що надійшли від мітки, відома в літературі як phase of arrival (POA) [13].

Для отримання вимірювальної інформації POA можна виконувати відправку серії запитів мітці на різних частотах з подальшим вимірюванням початкових фаз відповідних сигналів. Використання POA дозволяє визначити відстань від антени зчитувача до мітки в межах деякого діапазону дальності.

Кутова координата мітки - є видом вимірюваної інформації, відомим в літературі як angle of arrival (AOA) [12]. Для отримання вимірювальної інформації AOA зазвичай застосовують спеціальні антенні системи [12].

Використання AOA дозволяє визначити, в якому напрямку від антени зчитувача знаходиться мітка. Внаслідок ставлення числа прийнятих відповідей до загальної кількості запитів при багаторазовому проведенні сеансів зв'язку зчитувача з мітками формується вимірювальна інформація, що визначається відношенням числа прийнятих і коректно розпізнаних відповідей кожної мітки до числа посланих кожної антеною зчитувача запитів. Така вимірювальна інформація при досить великому числі запитів дозволяє оцінити відстань від антени до мітки [14].

В даний час практично всі доступні комерційні реалізації зчитувачів дозволяють виконувати вимірювання таких видів вимірювальної інформації, як факт наявності відповіді, рівень прийнятого сигналу і ставлення числа прийнятих відповідей до загальної кількості запитів. Інші види вимірювальної інформації зазвичай вимагають конструювання зчитувача під конкретну задачу, що підвищує витрати на розробку системи.

3.4 Методи просторової RFID-локалізації

Метод просторової локалізації визначається видом використовуваної вимірювальної інформації, що надходить в блок локалізації RFID-системи з блоку зберігання даних, і алгоритмом її обробки. Для подальшого опису дамо такі визначення [10]:

Робоча зона локалізації - це область простору, в якій необхідно забезпечити виявлення та локалізацію RFID-міток.

Зона дії антени зчитувача - це область простору, при розташуванні в якій RFID-міток їх відповідні сигнали будуть прийняті антеною, а при розташуванні поза цією областю - не будуть.

Форма зони дії антени в першу чергу залежить від конструкції антени. Зазвичай в RFID-системах використовуються слабо направлені антени, які розміщуються над робочою зоною локалізації. В таких умовах форма зони дії антени в площині двовимірної робочої зони є наближеною до кругової [9], при чому радіус кола визначається потужністю випромінювання антени.

3.4.1 Зонний метод

Зонний метод локалізації використовує вимірювальну інформацію у вигляді фактів наявності відповідей від міток [8]. Його принцип полягає в знаходженні області перетину зон дії антен, які взяли сигнали від мітки, з наступним виключенням області об'єднання зон дії антен, які не прийняли сигнали від мітки [10].

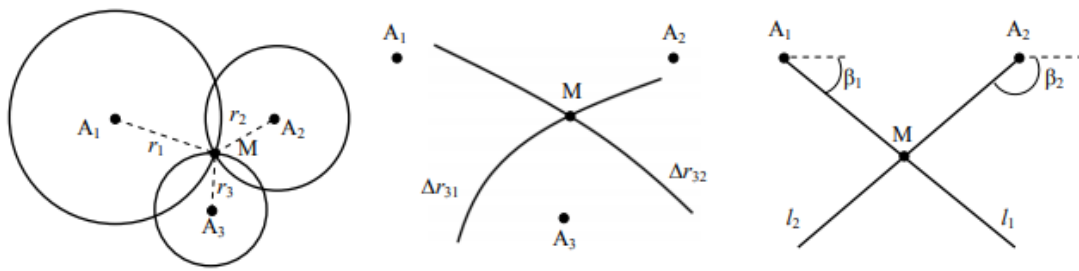
Класичний зонний метод простий в алгоритмічному плані, оскільки оцінка місця розташування мітки полягає у виборі однієї з зон потенційного розташування, координати яких розраховуються заздалегідь і зберігаються в блоці локалізації у вигляді таблиці

3.4.2 Геометричний метод

У геометричних методах локалізації оцінка місця розташування міток здійснюється шляхом побудови ліній положення (або поверхонь положення) за результатами вимірювань, проведених за допомогою декількох антен зчитувача [11]. При цьому в ідеальному випадку можливе отримання точкової оцінки координат мітки. Геометричні методи можна розділити на три типи:

- Трілатераційний (дальномірний);
- мультілатераційний (разностно-далекомірний);
- триангуляційний (кутомірний) [13].

Для випадку двовимірної локалізації ці методи ілюструються мал. 3.4.2.1.



Мал. 3.4.2.1 Трілатераційний, мультілатераційний, тріангуляційний типи геометричних моделей.

Трілатерація є процесом визначення місцезнаходження мітки шляхом вимірювання відстаней від цієї мітки до декількох антен [5]. При цьому місце розташування мітки визначається як точка перетину кіл, центри яких розташовуються в точках розміщення антен, а радіуси визначаються вимірними дальностями. Для двовимірної локалізації потрібно не менше трьох антен, розташованих довільно (рис. 3.4.2.1). На цьому малюнку позиція мітки відзначена як M , позиції антен відзначені як A_1 , A_2 , A_3 , а дальності від антен до мітки відзначені як r_1 , r_2 , r_3 , відповідно. Для визначення дальностей можна використовувати вимірювальну інформацію у вигляді RSS, TOA, POA або відносини числа прийнятих відповідей мітки до загальної кількості запитів антени [13].

Мультілатерація є процесом визначення місцезнаходження мітки шляхом вимірювання різниць відстаней між антенами і цією міткою. При цьому місце розташування мітки визначається як точка перетину гілок гіпербол, фокуси яких розташовуються в точках розміщення антен, а довжини дійсних осей визначаються вимірними різницями відстаней. Для двовимірної локалізації потрібно не менше трьох антен, з яких перша, що отримала сигнал від мітки, вибирається в якості опорної.

Тріангуляція є процесом визначення місцезнаходження мітки шляхом вимірювання кутів між деякими опорним напрямком і променями, що виходять з точок розташування антен і спрямованими на мітку [2]. При цьому місце розташування мітки визначається як точка перетину цих променів. Для двовимірної локалізації потрібно не менше двох антен.

У геометричних методах локалізації для знаходження точки перетину ліній положення складаються і вирішуються системи рівнянь, що описують ці лінії. Однак в силу похибки засобів вимірювання і впливу шумів в рівняннях цих систем виникають неточності. Тому оцінку місця розташування мітки можна виконувати шляхом розв'язання оптимізаційної задачі [13]. Для цього створюється цільова функція помилки визначення координат мітки, аргументом якої є вектор вимірювань з розмірністю числа антен, які отримали відповідні сигнали від мітки при її розташуванні в деякій позиції.

Надалі шукається така позиція всередині робочої зони локалізації, при якій досягається мінімум цільової функції помилки. Це завдання вирішується різними ітераційним методами, наприклад методами градієнтного спуску, Гаусса - Ньютона.

Геометричні методи дозволяють досягти досить високої точності локалізації. При локалізації всередині приміщень зазвичай використовується метод трілатерації. При цьому часто застосовується RSS вимірювальна інформація, що дозволяє домогтися досить високого рівня точності при відносній простоті конструктивної реалізації системи. Методи мультілатерації і тріангуляції використовуються рідше методу трілатерації, незважаючи на прийнятний рівень точності, який вони здатні забезпечити.

Це відбувається тому що системи на базі цих методів зазвичай обходяться дорожче за вартістю.

3.4.3. Методи на базі попереднього аналізу робочої зони

Існує ряд методів локалізації, відмінною рисою яких є проведення етапу попереднього аналізу робочої зони локалізації шляхом збору вимірювальної інформації в різних точках зони [8]. Для цього робоча зона розбивається на осередки, в кожному з яких встановлюється RFID-мітка. Після цього для кожної з антен зчитувача проводяться багаторазові вимірювання, в результаті чого отримана вимірювальна інформація зберігається в блоці зберігання даних. Таким чином, формується таблиця (карта) отриманих даних, іноді званих "радіо відбитками"

Після формування таблиці проводиться робочий етап, під час якого виконується оцінка координат міток. У літературі зазвичай розглядаються випадки збору RSS вимірювальної інформації

3.4.3 Методи на базі міток-маяків

Мітки-маяки являють собою RFID-мітки, розташовані в заздалегідь відомих позиціях. Методи локалізації на базі міток-маяків можна розділити на два типи: найближчих сусідів або інтерференції.

Метод найближчих сусідів реалізується згідно з принципами, описаними раніше, з тією відмінністю, що в якості постійних джерел інформації для RSS-таблиці застосовуються мітки-маяки, що рівномірно розміщуються в робочій зоні. При цьому етап попереднього аналізу виключається, що суттєво знижує тимчасові витрати. При реалізації такого підходу точність локалізації головним чином визначається числом міток-маяків і характером їх розміщення в робочій зоні. Недоліком цього підходу можна вважати збільшення часу локалізації, внаслідок необхідності отримання результатів вимірювань не

тільки від міток на об'єктах, а й від міток-маяків. Метод інтерференції полягає в оцінці місця розташування об'єктів локалізації шляхом аналізу мінливості вимірних сигналів від міток-маяків [6].

При цьому за допомогою антен системи проводиться безперервний моніторинг вимірювальної інформації (Наприклад, RSS) міток-маяків. Якщо стан робочої зони залишається статичним, то RSS сигнали від міток також залишаються незмінними [6].

При внесенні в робочу зону локалізації деякого об'єкту, значення RSS змінюються, причому найбільші зміни відбуваються в сигналах від тих міток-маяків, які розташовані в безпосередній близькості від внесеного об'єкта. Вимірявши відмінності в RSS сигналів від міток до внесення об'єкта і після і знайшовши ті мітки, зміни в RSS сигналах яких максимальні, можна визначити місце розташування цього об'єкта [6]. Такий метод успішно працює тільки в разі локалізації невеликого числа об'єктів і не дозволяє досягти високої точності. Однак, перевага цього методу полягає в тому, що об'єкт локалізації може не мати встановленої на нього мітки, оскільки оцінка його місцезнаходження виконується на основі аналізу сигналів від міток-маяків [6].

3.4.5 Порівняльний аналіз методів і перспективи їх розвитку

При розробці систем просторової локалізації важливим є завдання вибору виду вимірювальної інформації і методу локалізації, виходячи з вимог по точності і складності реалізації, а також інших характеристик, що визначаються передбачуваною областю застосування.

У табл. 3.4 наведені основні характеристики розглянутих методів локалізації об'єктів всередині приміщень на основі RFID-технологій.

З аналізу таблиці можна зробити висновок, що найбільшу точність локалізації забезпечують методи трілатерації, тріангуляції, найближчих сусідів, штучної нейронної мережі і машини опорних векторів. Тому слід очікувати підвищення інтересу до цих методів в зв'язку зі створенням спеціалізованих RFID-систем високоточної локалізації, що дозволяють виконувати пошук безлічі малих об'єктів всередині приміщень.

Найбільш простими по конструктивної і програмної реалізації є зонний метод, метод трілатерації (при використанні RSS вимірювальної інформації) і методу інтерференції. Ці методи особливо перспективні при вирішенні тих завдань, коли висока точність не потрібна, що може виникати, наприклад, при локалізації об'єктів в будівлях з точністю до приміщення [13].

Група	Метод	Вимірювальна інформація	Характеристики
Зонний	зонний	факт наявності відповіді	точність локалізації: від низької до високої (Визначається характером розташування антен); складність реалізації: низька
Геометричні	трилатерації	RSS, TOA, POA, ставлення числа прийнятих відповідей до загальної кількості запитів	точність локалізації: середня або висока; складність реалізації: низька (при використанні RSS)
	мультилатерації	TDOA	точність локалізації: середня; важкість реалізації: середня(потрібна часові синхронізація лічильників)
	тріангуляція	AOA	точність локалізації: середня або висока; складність реалізації: висока (потрібні спеціальні антенні системи)
Попередній аналіз робочої зони		RSS	точність локалізації: середня або висока; складність реалізації: середня; особливості: необхідне попереднє аналіз робочої зони
Мітки - маяки	інтерференції		точність локалізації: середня або висока; складність реалізації: середня
	найближчих сусідів		точність локалізації: низька; важкість реалізації: низька; особливості: можлива локалізація об'єктів без міток

3.5 Системи позиціонування з використанням активних RFID

Активні радіочастотні мітки використовуються при необхідності відстеження предметів на відносно великих відстанях (наприклад, на території сортувальної площадки). Робочі частоти активних RFID - 455 МГц, 2,4 ГГц або 5,8 ГГц, а радіус дії - до ста метрів. Живляться активні мітки від вбудованого акумулятора [5].

Існують активні мітки двох типів: радіомаяки і транспондери. Транспондери включаються, отримуючи сигнал зчитувача. Вони застосовуються в АС оплати проїзду, на КПП, в'їзних порталах та інших подібних системах [5].

Радіомаяки використовуються в системах позиціонування реального часу. Радіомаяк відправляє пакети з унікальним ідентифікаційним кодом за командою або із заданою періодичністю. Пакети приймаються як мінімум трьома приймачами, розташованими по периметру контрольованої зони [5].

Відстань від маячка до приймачів з фіксованими координатами визначаються по куту напрямку на маячок Angle of arrival (AoA), за часом приходу сигналу Time of arrival (ToA) або за часом поширення сигналу від маячка до приймача Time-of-flight (ToF) [13].

Метод Angle of arrival - у напрямку на абонента дозволяє обчислити приблизне місцезнаходження в межах площі, утвореної перетином секторів обслуговування антенних решіток (при частотному плануванні в одній соті використовується кілька - від трьох до шести секторів, спрямованих в різні боки). При цьому чим більше секторів, тим менше кут кожного з них, а отже, площа перетину секторів сусідніх сот зменшується, а точність визначення координат збільшується. Зазвичай це 100-200 метрів [13].

Метод Time of arrival ґрунтується на вимірюванні часу проходження сигналу від мобільного терміналу до трьох найближчих базових станцій. Щоб домогтися необхідної точності вимірювання, необхідно синхронізувати базові станції за часом за допомогою атомного годинника або за допомогою сигналів з супутника GPS [5].

Всі дані через мережу оператора зв'язку надходять в обчислювальний центр, де місцезнаходження абонента встановлюється з точністю близько 100 метрів. Інфраструктура системи будується на базі провідної мережі і в двох останніх випадках вимагає синхронізації [5]. Термін «активні RFID» охоплює великий клас різноманітних виробів.

Більшість радіочастотних систем позиціонування використовують для ідентифікації та позиціонування об'єктів активні RFID. Тому характеристики активних радіочастотних міток, включаючи точність позиціонування і вартість, сильно розрізняються, залежно від конкретного виробника. Навіть бюджетні RFID-мітки з вельми обмеженим обсягом пам'яті можуть зберігати спеціальні дані про об'єкт (СДО), наприклад, точну вагу товару, його форм-фактор і навіть спектрографічний аналіз поверхні для посвідчення того, що RFID-мітка дійсно прикріплена до відповідного товару. Цей підхід нагадує використання особистих фотографій у паспортах, які логічно пов'язують документи з їх власниками. У результаті подібної системи захисту відсутня можливість видалення RFID-мітки у справжнього товару, а також її повторного застосування у підробленому товарі [5].

Подібна RFID-система використовує спеціальні дані про об'єкт, що забезпечує необхідну надійність прикріплення між RFID-міткою і товаром, до якого вона прикріплена [3].

RFID-система складається з чотирьох основних складових (рис. 3.5.1):



Рис. 3.5.1. Структура RFID-системи – мітка, що містить спеціальні дані про об'єкт; – маркуючий пристрій; – блок керування даними; – користувацький термінал [14].

Для зазначеної RFID-системи підходять пасивні RFID-мітки (позбавлені джерела енергії; електричний струм в подібних мітках індукується в антені електромагнітним сигналом від зчитувача) з ємністю для зберігання даних від 32 до 64 байт [15].

Водночас в мітках не вимагається виконання криптографічних функцій, вони лише зберігають спеціальні дані про об'єкт:

- дані про справжність товару;
- унікальний номер мітки;
- унікальний серійний номер товару;
- специфічні дані товару;
- метод підпису;
- значення підпису.

RFID-мітка містить унікальний номер, який програмує виробник мітки в процесі її виробництва.

Унікальний серійний номер товару — це номер, який призначає власник торгової марки [15].

Номер може ґрунтуватися на системі нумерації Європейської Патентної Конвенції (ЄПК) [10] або будь-якій іншій системі нумерації, яка полегшує ідентифікацію унікальних об'єктів. Дані, які характеризують окремих товар, зокрема книжкову продукцію, не змінюються з плином часу і легко вимірюються під час огляду [12].

Дані мають бути унікальні з того погляду, що два різних примірника того самого товару можуть бути помарковані за допомогою характерної риси, наявної в описі. Вибір властивостей залежить від особливих вимірюваних характеристик, таких як фізичні, хімічні, електричні та інші, які має певний товар, і які доступні для вимірювального

устаткування. Наведемо як приклад характеристики, що повністю, або частково описують товари: маса, фізичні розміри, серійний номер, надрукований на товарах або їх упаковці тощо. Ці дані зазвичай записує в RFID-мітки постачальник товару перед його постачанням, наприклад, в процесі упаковки. Також можна зберігати посилання на дані про RFID-мітки, наприклад, уніфікований ідентифікатор ресурсу (URI), які точно визначають запис у віддаленій базі даних. Це допомагає скоротити ємність RFID-мітки і у такий спосіб дасть змогу застосовувати дешевші мітки, але проведення перевірки товару залежить від наявності мережевого з'єднання [15].

Послідовність бітів, яка визначає комбінацію криптографічних методів, використовуваних під час обчислення значення підпису називається підписом. Ця інформація використовується на терміналі для застосування потрібного криптографічного алгоритму під час перевірки достовірності товару. Значення підпису: постачальник товару обчислює значення підпису, використовуючи криптографічний хеш-функцій h з асиметричним шифруванням SPr . Значення підпису $h = SPr(h)$ (h — унікальний номер мітки, унікальний серійний номер товару, специфічні дані товару, метод підпису, значення підпису). Обчислюючи значення підпису, SPr використовує секретний ключ продавця товару (ключ підпису), який має бути відомий лише йому [13].

Для перевірки справжності значення підпису використовується відкритий ключ (ключ перевірки). Кріплення пасивної RFID-мітки на товар здійснюється за допомогою так званого маркуючого пристрою, який відповідає за вимір спеціальних даних про об'єкт і запис результатів на мітку і в базу даних виробника. Блок управління даними зберігає спеціальні дані про об'єкт і полегшує управління доступом [11].

Принцип роботи блоку управління даними схожий з системою, що займається лише перевіркою достовірності серійних номерів, за винятком того, що кожен запис бази даних збільшується завдяки додатковій інформації про товари (СДО). Термінал (по суті, пристрій, що контролює справжність товарів) складається з модуля зчитування, пристрою вимірювання СДО, обчислювального модуля, інтерфейсу користувача і засобу мережевого з'єднання. Модулем зчитування може бути будь-який пристрій, що має можливість зчитувати СДО за певними адресами пам'яті. Обчислювальний модуль відповідає за перевірку цілісності СДО, тобто пристрій перевіряє, чи була змінена інформація в RFID-мітці, для того щоб своєчасно проінформувати про можливість підробленого запису в базі даних. Засіб створення мережевого з'єднання необхідний для знаходження відкритого ключа через довірене джерело виробника товару. В альтернативному випадку користувач може також зберігати необхідні секретні ключі, які дають змогу перевірити товар без підключення до мережі. Перевага такого підходу полягає в тому, що можуть бути

використані бюджетні пасивні RFID-мітки з ємністю для зберігання даних всього 32–64 байт. При цьому в мітках не потрібно застосування криптографічних функцій, які необхідні для більш дорогих RFID-міток [13].

Описаний підхід також може бути комбінований з перевіркою достовірності, яка ґрунтується на відстеженні переміщення або правилах ідентифікації захищених RFID-міток з метою запобігання їх копіювання або видалення з справжньої RFID системи [5]. Мітка, прикріплена до об'єкта і жорстко пов'язана з ним, містить спеціальні дані про цей об'єкт. Описана RFID-система дає змогу виміряти об'єкт, що допомагає уникнути копіювання.

Це рішення також придатне для перевірки достовірності товару без наявності підключення до мережі або у випадках, якщо мережа недоступна. Недолік методу полягає в тому, що він застосовується лише в тому випадку, якщо захищаються товари які мають особливі унікальні властивості, які можуть бути перевірені економічно вигідним способом. Особливими унікальними властивостями товару, зокрема книжкової продукції, можуть бути не тільки індивідуальні особливості, але також інформація з електронних документів на вантаж і митних декларацій, вага партії, інформація про джерело і пункт призначення, дата відвантаження і тому подібні відомості можуть слугувати як спеціальні дані про об'єкт для прив'язки документів до певного товару [13].

3.6 Перевірка працездатності міток

Так як характеристики мітки вельми чутливі до різних забруднень поверхні підкладки, особливо в СВЧ діапазоні, а алюмінієва плівка товщиною менше 1 мкм схильна до руйнування при взаємодії з різними агресивними речовинами, що містяться в атмосфері, мітки необхідно поміщати в герметичний корпус [15].

До контактних площадок мітки за допомогою ультразвукового зварювання приварюється узгоджена друкована котушка індуктивності в парі з друкованою антеною. Ці елементи розміщуються на окремій друкованій платі, розміри якої не повинні перевищувати розмірів звичайної пластикової картки з магнітною смугою (тобто 8.5×5.5 см) [13].

Нижня поверхня кристалічної підкладки мітки на ПАР покривається рівномірним шаром клею типу RTV з срібним заповненням товщиною приблизно 1 мм і центрується в невеликому поглибленні на друкованій платі. Після цього до підкладки прикладається мале розподілене тиск до тих пір, поки між нижньою поверхнею і поверхнею друкованої плати не залишиться амортизаційний шар клею товщиною 0,6 мм. Даний підхід з одного

боку дозволяє захистити кристал від пошкоджень при ударних і вібраційних навантаженнях, а з іншого, знижує рівень електромагнітних наведень [13].

Висновок до розділу

Проаналізовано основні технології, що дозволяють проводити синтез систем просторової локалізації.

Встановлено, що технологія радіочастотної ідентифікації з використанням пасивних міток, які працюють в УВЧ діапазоні, є найкращою з точки зору мінімізації вартості впровадження при вирішенні задачі двовимірної просторової локалізації безлічі множини об'єктів всередині закритих приміщень. Проведено аналіз видів вимірювальної інформації, одержуваної від RFID-міток.

Виконано аналітичний огляд методів просторової локалізації та визначено методи, що забезпечують найбільшу точність локалізації.

Встановлено, що точність просторової локалізації на базі RFID-технології може бути збільшена шляхом комбінування різних методів локалізації та видів вимірювальної інформації. Відзначено, що точність відомих методів просторової локалізації істотно залежить від розміщення антен RFID системи. Розглянуто ряд підходів до вирішення задачі оптимізації розміщення антен та визначено основні недоліки цих підходів

ВИСНОВОК

Було розглянуто існуючі підходи у розробці систем просторової ідентифікації та локалізації. Було проаналізовано такі технології як штрихове кодування, технологія NFC, а також технології контролю доступу на основі біометричної інформації та радіочастотної ідентифікації. На основі розгляду було виділено напрямки застосування та реалізацій RFID систем.

Було з'ясовано що навіть бюджетні RFID-мітки з вельми обмеженим обсягом пам'яті можуть зберігати спеціальні дані про об'єкт (СДО), наприклад, точну вагу товару, його форм-фактор і навіть спектрографічний аналіз поверхні для посвідчення того, що RFID-мітка дійсно прикріплена до відповідного товару. Цей підхід нагадує використання особистих фотографій у паспортах, які логічно пов'язують документи з їх власниками. У результаті подібної системи захисту відсутня можливість видалення RFID-мітки у справжнього товару, а також її повторного застосування у підробленому товарі.

Розглянуто зонний, геометричний методи, методи на базі міток-маяків та попереднього аналізу робочої зони. На підставі огляду методів локалізації об'єктів в двовимірному просторі за допомогою RFID-систем проведена класифікація методів локалізації, описано етапи реалізації, переваги та недоліки методів.

Проведений аналітичний огляд методів просторової локалізації показав, що точність просторової локалізації на базі RFID-технології може бути збільшена шляхом комбінування різних методів локалізації та видів вимірювальної інформації. Відзначено, що точність відомих методів просторової локалізації істотно залежить від розміщення антен RFID системи.

Проте в залежності від задачі, методи локалізації на базі RFID систем можуть забезпечувати у разі необхідності достатньо велику точність, або

навпаки, при відсутності необхідності у високій точності забезпечити не складну реалізацію, а відповідно і меншу ціну.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАННЯ

1. Идентификация систем // Вікіпедія: вільна енциклопедія. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%
2. Шарфельд Т. Системы RFID низкой стоимости. Москва: «Горячая линия Телеком», 2006. – 197 с.
3. Компоненты устройств бесконтактной идентификации (RFID). [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.microem.ru (дата звернення: 12.04.2019)
4. Что такое RFID, общее описание технологии, оборудования и меток. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://scancode.net.ua/a73222-chtotakoe-rfid.html> (дата звернення: 22.03.2019).
5. Радиочастотная идентификационная метка на поверхностях акустических волнах. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studbooks.net/2369565/tehnika/passivnye_poluaktivnye_aktivnye_metki (дата звернення: 22.02.2019).
6. Yeoman M. Дальность считывания RFID-меток и оптимизация антенны. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.comsol.ru/blogs/rfid-tag-read-range-antenna-optimization> (дата звернення: 23.05.2019).
7. Геддес М. 25 крутых проектов с Arduino. Москва: «Эксмо», 2018. – 273 с. Змн. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. 58 ДП.171.051.009_ ПЗ
8. Описание процесса радиочастотной идентификации. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://asupro.com/gps-gsm/meansidentification/reference/description-process-rfid.html> (дата звернення: 20.05.2019).
9. История создания Arduino. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/art2-istoriyasozdaniya-arduino> (дата звернення: 10.05.2019).

10. Robostore. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://www.robostore.com.ua/platy-razrabotki-ruru/arduino-ru-ru/arduino-nanov30-avr-atmega328p-raspayannaya-ru-ru> (дата звернення: 1.06.2019).
11. Arduino Nano. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano> (дата звернення: 2.06.2019).
12. Контроль доступа. RFID-rc522+Servo+Arduino [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lesson.iarduino.ru/page/kontrol-dostupa-rfidrc522-servo-arduino/> (дата звернення: 5.06.2019).
13. RFID модуль RC522 [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://idcard.com.ua/hf-rfid-modulerc522spi.html?gclid=Cj0KCQjw_r3nBRDxARIsAJljeHwVOjNc91Kp4oJ_XptP_TLkLv9Ukn_yvkavO95AW6zlfjsxcPVYo2JlaAuofEALw_wcB (дата звернення: 5.06.2019).
14. Подключение RFID и Arduino с помощью RC522. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://arduino-master.ru/datchikiarduino/podklyuchenie-rfid-k-arduino/> (дата звернення: 5.05.2019).
15. RFID брелок Mifare 1K. URL: <https://chip-ua.com/uk/beskontaktnyjbrelok-s-chipommifare/>

Порівняльна характеристика пасивних РЧІД- міток, які працюють в діапазоні частот 850 - 960 МГц

Найменування	ESCOR-SAW [10]	RI -UHF – 00C02-03G2 [11]
Виробник	ООО «ОПФ ПИК» (Росія)	T. Instruments (США)
Вид	Мітка на ПАВ	Мітка на основі чіпу
Розміри, мм	200x300	95,25x38,1
Температура роботи	от -100 до 300 ° С	-40 ...+65 ° С
Дальність зчитування	До 10 м	До 7 м
Ємність даних	До 96 біт	До 96 біт
Термін використання	Більш 10 років	До 10 років
Радіаційна стійкість	До 5 Мрад	Вхід зі стану